Die Funktion des musculus cricothyreoideus und des musculus digastricus venter anterior - vergleichende elektromyographische Untersuchungen beim Atmen, Husten, Schlucken und Phonieren -

Gesine Gräf

1968

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-,
Nasen- und Ohrenkranke der Universität
München

Direktor : Professor Dr. med. A. Herrmann

Die Funktion des musculus cricothyreoideus und des musculus digastricus venter anterior - vergleichende elektromyographische Untersuchungen beim Atmen, Husten, Schlucken und Phonieren -

Jnaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin verfasst und einer Hohen Medizinischen Fakultät der Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von

Gesine Graf

aus

München

Jahr

1968

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv.Doz.Dr.med.W.Lesoine

Mitberichterstatter: Prof.Dr.med.A.Herrmann

Dekan: Prof.Dr.med. F.Holle

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Juli 1968

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung	4
II.	Eigene Untersuchungen	
	a) Methodik	15
	b) Befunde	20
III.	Besprechung der Ergebnisse	22
IV.	Zusammenfassung	37
V.	Literaturverzeichnis	38

Elektromyografische Untersuchungen wurden zum ersten Mal durchgeführt von WEDDEL, FEINSTEIN und PATTLE im Jahre 1944, nachdem AMERSBACH 1922 beim Hund bereits Aktionsströme aus der Kehlkopfmuskulatur mit dem Saitengalvanometer abgeleitet hatte. Seither hat sich die Elektromyografie nicht nur zur Klärung und Sicherung physiologisch-anatomischer Gegebenheiten bewährt, sondern auch für klinisch-diagnostische Zwecke große Bedeutung erlangt.

Die Aktionsströme des musculus Cricothyreoideus am Menschen registrierte erstmals der Physiologe KATSUKI (1950) mit Oszillograph und Verstärker. Und es war der Kliniker FAABORG-ANDERSEN (1957), der die Elektromyografie der Kehlkopfmuskulatur in die Hals-,Nasen- und Ohrenheilkunde einführte. Seitdem sind zahlreiche Veröffentlichungen auf diesem Gebiet erschienen, wobei vor allem aus Japan zahlreiche Beiträge geleistet wurden (NAKAMURA 1958, KATSUKI 1950).

Hierbei wurde die Elektromyografie zur Demonstration spezifischer Probleme der Kehlkopfphysiologie und -pathologie benutzt. Untersucht wurde vorwiegend die innere Kehlkopfmuskulatur, soweit sie für die Placierung der Elektroden einigermassen zugänglich war; vor allem der musculus cricothyreoideus, sowie der musculus arytaenoideus. Auch mit der äusseren Kehlkopfmuskulatur befassten sich einige Autoren. Die Untersuchungen erfolgten zum Teil an gesunden Personen percutan (YANNOULIS 1964, GUERRIER 1964, CARAZENI 1964 u.a.) oder wurden im Verlauf einer Operation mit direkter Jnsertion der Nadelelektroden in den betreffenden Muskel durchgeführt (GREINER et al. 1960).

FAABORG-ANDERSEN (1957) und ARNOLD (1961) beschäftigten sich eingehend mit der Auswertung elektromyografischer Ergebnisse des musculus cricothyreoideus während des Ablaufes verschiedenster Aktionen unter spezieller Beobachtung der Funktion des genannten Muskels bei steigender Tonhöhe, bzw. während des Registerwechsels.

Die zitierten Autoren belegten ihre Resultate bei der Besprechung ihrer Versuchsergebnisse jeweils mit beispielhaften Wiedergaben einzelner elektromyographischer Kurven.

Jn unseren Versuchsreihen sollte eine quantitative Darstellung gegeben werden. Es erscheint uns dabei von Jnteresse, die in der Literatur vorliegenden Ergebnisse an Hand des musculus cricothyreoideus nachzuprüfen und auf diese Weise sowohl respiratorische als auch phonische Phänomene zu analysieren. Jnsbesondere sollte die Phonation verschiedener Vokale und Konsonanten in Hinblick auf eine etwaige Aktivität des musculus cricothyreoideus untersucht werden. Als Vergleichsmöglichkeit wurde der musculus digastricus venter anterior zugezogen, der zur Muskulatur der Mundbodengürtung gehörig ebenfalls an den genannten Aktionen beteiligt ist.

Es kam uns darauf an, einen brauchbaren objektiven Maßstab zur Auswertung des Aktivitätsmusters des Elektromyogramms zu geben und die Übertragung der Ergebnisse in ein übersichtliches graphisches System zu kleiden.

Die Schilderung der anatomischen, physiologischen und pathologischen Gegebenheiten des musculus cricothyreoideus und des musculus digastricus soll zunächst einem Abriß über die Grundzüge der Elektromyographie sowie über die bisher mit ihrer Hilfe ermittelten Tatsachen vorangestellt werden.

Obwohl der musculus cricothyreoideus zu den kleinsten Muskeln des Körpers zählt, so wurde ihm doch in der Literatur grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Jn verschiedenen Sprachen wurde immer wieder seine anatomische Beschaffenheit, seine Funktion und seine Bedeutung bei der Stimmformung diskutiert. Aus der Fülle der vorliegenden Literatur soll hier ein kurzer zusammenfassender Überblick geg eben werden.

Eine Vorstellung von der Größe des Muskels gibt FAABORG-ANDERSEN (1957) in folgender Tabelle, in der er die mittleren Meßwerte des inneren und äusseren Stimmbandspanners aufzeichnet.

Muskel	Länge	Breite	Dicke	Querschnitt	Volumen	Errechnetes Gewicht	tatsächliches Gewicht
		in mm	in mm	in mm^2	mm^3	in mg	in mg
usculus crico-hyreoi-deus	15	10	6	60	900	954	94o
usculus ocalis	15	4	5	20	300	318	357

Mittelwerte der Größe der Stimmbandspanner.

TSCHIASSNY (1944) gibt einen detailierten Abriß über die diesbezügliche Entwicklung anatomischer Erkenntnisse im Laufe der Zeit. Da der musculus cricothyreoideus präparatorisch relativ einfach zugänglich ist, besteht über seine Morphologie wohl kein Zweifel. Genaue Beschreibungen finden sich bei v.LANZ (1955) und PERNKOPF (1952).

Der einzige äussere Kehlkopfmuskel ist der musculus cricothyreoideus, welcher paarig so angeordnet liegt, dass er vorne das ligamentum cricothyreoideum medium (conicum) zum großen Teil freiläßt. Er entspringt am unteren Rand des Schildknorpels bis nach rückwärts zum tuberculum thyroideum caudale und enthält 2 Portionen: eine vordere, die pars recta und eine rückwärtige, beinahe horizontal ziehende pars obliqua, die auch noch vom unteren Schildknorpelhorn entspringt. Diese beiden

Teile convergieren ansatzwärts, und zwar seitlich vorn und außen am arcus cricoideus. Auch ein dritter Anteil, eine pars interna, wird beschrieben (TSCHIASSNY 1944, v.LANZ 1955, MAYET und MÜNDNICH 1958). Sie wird, den zitierten Autoren zufolge, in der Regel durch Bindegewebe von den ihr benachbarten inneren Kehlkopfmuskeln getrennt. Ein direktes Übergreifen ihrer Fasern auf die inneren Muskeln sei nur ausnahmsweise vorhanden. Der dritte Muskelteil hat seinen Ursprung von der inneren Platte des Thyreoidflügels und seinem unteren Horn; er inseriert ventral und lateral am Cricoidring.

Allgemeinhin bestimmt die Festlegung nach Ursprung und Ansatz auch die Wirkungsweise eines Muskels. Viele Autoren engagierten sich in dieser Frage und gelangten zu widersprüchlichen Aussagen, zu deren Klärung in den Bereich der Funktion des musculus cricothyreoideus verwiesen wird. Ohne Stellung zu beziehen kann die Tätigkeit des musculus cricothyreoideus dahingehend interpretiert werden, dass es seine Aufgabe ist, die vorderen Anteile des Schildknorpels und des Ringknorpels einander zu nähern.

Diese Bewegung wird ermöglicht mit Hilfe der Cricothyreoidgelenke unter der fördernden oder hemmenden Mitwirkung der Cricothyreoidbänder. Die Gelenke (articuli) stellen die Verbindung zwischen dem unteren Schildknorpelhorn und der Cricoidplatte her. Das cornu cricoideum bildet den einen Gelenkskörper des Schildknorpels; den anderen stellt das Cricoid, welches beiderseits im Bereiche der facies articulares thyreoides dem unteren Schildknorpelhorn im Cricothyreoidalgelenk angelagert ist.

Nach PERNKOPF handelt es sich um ein Schiebegelenk, welches eine rotatorische Verschiebung und damit eine drehende Bewegung um eine frontale Achse gestattet. Auch eine geradlinige Bewegung von vorne nach hinten ist möglich. Nach ZENKER und ZENKER (1960) handelt es sich bei den Gelenken um Diarthrosen.

Die Bewegungsmöglichkeiten im Cricothyreoidgelenk werden kontrolliert durch das ligamentum ceratocricoideum anterius, laterale et posterius. Genaueren Untersuchungen von MAYET und MÜNDNICH (1958) zufolge, baut sich das ligamentum ceratocricoideum posterius aus 2 Teilen auf, und zwar aus der pars obliqua und einem Querzug, der pars transversa. Letztere hemmt zusammen mit dem ligamentum ceratocricoideum laterale eine zu starke Annäherung des Ringknorpelbogens an die Unterkante des Schildknorpels. Während der Phonation wird die Parallelverschiebung der beiden Knorpel durch die gespannten Bänder verhindert. Als Durchschnittswerte für den Abstand zwischen Ringknorpelbogen und unterem Schildknorpelrand geben die Autoren an :

Äußerste Entfernung	20	mm
Neutrale Ruheposition	12	mm
Größte Annäherung	3-6	mm

Das stimmt mit den Ergebnissen von MÖLLER und FISCHER fast überein, die schon 1904 im Röntgenbild für die Phonationsruhe einen Abstand von 14 mm maßen.

Die Jnnervation des musculus cricothyreoideus wurde sowohl im Tierexperiment (EXNER 1884, 1888, STUPKA 1924) als auch am Menschen eingehend untersucht und diskutiert. Dabei ergab es sich, daß die Jnnervation des musculus cricothyreoideus wie überhaupt des gesamten Kehlkopfes bei den verschiedenen Jndividuen recht unterschiedlich ist. Allgemein verlaufen die Nervenfasern für den Kehlkopf und seine Muskeln im nervus vagus (X). Motorik und Sensibilität des Kehlkopfes entsprechen entwicklungsgeschichtlich einer segmentalen Jnnervation.

Nach PERNKOPF zerfällt die Kehlkopfmuskulatur stratigraphisch in eine äussere und innere Muskulatur, welche entsprechend der äusseren und inneren Muskulatur des Kiemenkorbskeletts dem Schlunddarm entstammt. Sie wird daher verschieden innerviert. Der musculus cricothyreoideus ist das alleinige ventrale Derivat der äußeren Schicht und setzt als solches die Richtung des dorsalen Teils dieses Sphincters, des unteren constrictor pharyngis, fort. Er leitet sich vom visceralen Mesenchym des 4. Bogens ab und wird vom 4. Kiemenbogennerven, nämlich dem ramus externus des nervus laryngicus cranialis versorgt. Der ramus internus übernimmt die sensible Versorgung des oberen Kehlkopfes.

Die inneren Kehlkopfmuskeln sind durchwegs Derivate des inneren Sphincters, gebildet aus dem mesenchymalen Material des 6. Bogens. Sie werden entsprechend vom Nerven des 6. Bogens, dem nervus laryngicus caudalis oder recurrens motorisch und sensibel versorgt.

1841 beschrieb LONGET als erster die Jnnervation des musculus cricothyreoideus durch den nervus laryngicus cranialis. Dieser Nerv wird hauptsächlich als sensibler Nerv angesprochen, der die Versorgung der Schleimhaut des Kehlkopfinneren mit sensiblen Fasern übernimmt (KATZENSTEIN 1892, RANKE und LULLIES 1953). Jm ramus externus verlaufen die motorischen Fasern für den musculus cricothyreoideus (HOFER 1944, v.LANZ 1955). EXNER (1884 und 1888) beschreibt an Hand von Tierversuchen einen nervus laryngicus medius, aus dem ramus pharyngicus des nervus vagus stammend. Widersprüchliche Ergebnisse klinischer Beobachtungen lassen sich dadurch erklären, daß die Jnnervation entweder auf die Gegenseite übergreift, oder daß Anastomosen zwischen dem nervus laryngicus cranialis et caudalis bestehen. So ist auch LUBLINSKI's (1901) in einzelnen Fällen beobachtete Jnnervation des musculus cricothyreoideus durch Äste des nervus recurrens zu verstehen. 1956 fand MAYET an zehn menschlichen Kehlköpfen eine zusätzliche Jnnervation des musculus cricothyreoideus aus dem nervus laryngicus inferior.

Wir haben gezeigt, dass Morphologie und Jnnervation dieses kleinen Muskels mannigfaltige Variationen aufweisen. Umso vielfältiger sind die Meinungen über die komplizierte Funktion des musculus cricothyreoideus, welche wir in unseren elektromyographischen Untersuchungen beleuchten möchten.

Allgemein kann gesagt werden, dass sich bei der Kontraktion des musculus cricothyreoideus Ring- und Schildknorpel einander nähern. MAGENDIE erklärte 1813 als erster, der Schildknorpel

sei der fixierte, der Ringknorpel der bewegliche Teil. Diese Meinung wurde später aber auch bestritten. Und es schieden sich die Geister in der Frage, welcher Knorpel das punctum fixum, welcher das agens movens sei. So fanden sich Anhänger, welche sich für die Anhebung des Ringknorpels aussprachen (JELENFFY 1873, HOOPER 1883, KRAUSE 1901, KATZENSTEIN 1911, NEMAI 1937, JUDSON 1942, TSCHIASSNY 1944, ARNOLD 1948, PERNKOPF 1952, RANKE und LULLIES 1953, MÜNDNICH 1956, GREGG 1957, FAABORG-ANDERSEN 1957, ZENKER und ZENKER 1960) und solche, die ein Herabziehen des Schildknorpels befürworteten (BARTH 1901 u.a.). Einige schließlich hielten beides für möglich (s.weiter unten).

Nach neuerer Ansicht (MAYET 1956, FAABORG-ANDERSEN 1957, ZENKER und ZENKER 1960) ergibt sich schon aus der anatomischen Betrachtungsweise, dass der Cricoidring, der keine muskuläre Verbindung zum Skelett hat und nur beweglich der Trachea angeheftet ist, dem Thyreoidknorpel genähert wird. Letzterer wird ja durch die äussere Kehlkopfmuskulatur zwischen Hyoid und Sternum fixiert. Es erscheint daher einleuchtend, daß der kleine musculus cricothyreoideus kaum diesem Zug entgegenwirken kann. BARTH (1901) beschreibt allerdings ein Herunterziehen des Schildknorpels zum Ringknorpel, wenn die untere Zungenbeinmuskulatur erschlafft ist, und damit ein Tiefertreten des Hyoids. Jn jedem Falle aber wird sichtbar, palpierbar und röntgenologisch nachweisbar die Cricothyreoidentfernung verringert (JELENFFY 1873, EWALD 1898, MOELLER und FISCHER 1904, ZENKER und ZENKER 1960). Die Annäherung geschieht mittels einer Dreh- oder Kippbewegung um eine gedachte Achse durch die Cricothyreoidgelenke. Dabei kommt es gleichzeitig zu einer Vergrösserung der Distanz zwischen Schild- und Aryknorpel durch eine kombinierte Rückwärts- und Abwärtsbewegung der lamina cricoidea. Sind nun die beiden Aryknorpel festgestellt, so ergibt sich die Hauptfunktion des musculus cricothyreoideus, nämlich die passive oder die grobe äussere Spannung und Verlängerung der beiden Stimmbänder. Da mit dieser Spannung eine Längenänderung verbunden ist, handelt es sich um eine isotonische Kontraktion des Muskels, im Gegensatz zur isometrischen Kontraktion des musculus vocalis, des Feinabstimmers des Stimmbandes, der von GOERTTLER 1950 histologisch anatomisch genau aufgeschlüsselt wurde.

Schon 1873 gab JELENFFY eine detailierte Beschreibung über den oben g eschilderten Bewegungsablauf, indem er dem Muskel drei Wirkungskomponenten zuschrieb. Er teilte die Zugkraft in drei Richtungen mit verschiedener Wirksamkeit auf. Eine vertikale Komponente bewirkt die passive Stimmbandspannung; der Zug in sagittaler Richtung aus der horizontalen Ebene ruft eine direkte Spannung, und ein Zug in frontaler Richtung ruft aktiv die stärkste Spannung hervor. Jm Gegensatz zu dieser Untersuchung behauptet EWALD (1898), der musculus cricothyreoideus diene lediglich als Widerlager für den musculus vocalis und habe nur eine unbedeutende Funktion hinsichtlich der Stimmbandannäherung und -spannung.

Jn jüngster Zeit beschäftigten sich ZENKER und ZENKER (196o) eingehend mit dem Problem der Stimmlippenspannung. Sie zerlegten das Mosaik der den Bewegungsablauf bestimmenden Mechanismen in folgende Einzelabläufe : Verlängerung der Stimmlippen durch den musculus cricothyreoideus mit der Unterstützung des musculus thyreopharyngicus, der die Schildknorpelplatten rückwärts etwas nähert, und auf diese Weise den sagittalen Durchmesser des Kehlkopfes verlängert. Die zitierten Autoren sehen den Gegenspieler im musculus cricopharyngeus der die Stimmbänder verkürzt, da er die Cricoidplatte auf- und vorwärts zieht.

Folgende Gegenkräfte müsse der musculus cricothyreoideus bei der Phonation zur Einstellung der Tonhöhe überwinden :

1) die um 3-7fach verstärkte Aktivität des musculus arytaenoideus,
2) die durch die Stimmlippenverlängerung herbeigeführte Anspannung der elastischen Strukturen,
3) die Kraft der in den Einstellmechanismus regelnd eingreifenden stimmbandverkürzenden Muskeln und
4) die durch den Kehlkopfanstieg bedingte Erhöhung des Trachealzuges.

MAYET und MÜNDNICH (1958) schreiben die Anhebung des Cricoidringes der pars recta, das Rückwärtsgleiten der pars obliqua zu.

Neben dieser Hauptfunktion als Stimmbandspanner wirkt der musculus cricothyreoideus aus Lateralstellungen bis zur Paramedianen als Adduktor, von der Medianen bis zur Paramedianen als Abductor. Gerade diese Funktion wurde bedeutungsvoll bei der Untersuchung der Stimmbandlähmungen.

Historisch stehen sich WAGNER's (189o) und GROSSMANN's (19oo) Theorie der Paramedianstellung eines völlig gelähmten Stimmbandes und die Regel von ROSENBACH (188o) und SEMON (1897) gegenüber, nach der nämlich aus einer vollständigen Recurrensparese eine Jntermedianstellung der Stimmbänder resultiert.

Heute neigt man mehr der Auffassung zu, dass der musculus cricothyreoideus zur Stimmbandadduktion beitrage (TSCHIASSNY 1944 FISCHER 1952, FREEDMANN 1955, 1956, ARNOLD 1957). Diese streng Aufgliederung der Funktion in Streckung, Abduktion und Adduktion wird der physiologischen Funktion nicht gerecht. Es gilt die Tätigkeit des musculus cricothyreoideus in die wechselseitigen Funktionsbeziehungen der Kehlkopfmuskulatur einzuordnen, wie es JESCHEK (1953) übersichtlich getan hat. Dieser Muskel spielt eine wichtige Rolle in dem einander beeinflussenden Wechselspiel der inneren und äusseren Kehlkopfmuskulatur, deren gemeinsame Aufgabe die Fixierung der Aryknorpel und damit der Stimmbänder, die grobe innere und äußere Stimmbandspannung ist.

Zu eingehender Klärung dieser Fragen hat die Kehlkopfphysiologie und auch die Beobachtung pathologischer Phänomene entscheidend beigetragen. Obwohl Versuchsergebnisse vom Tier nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden können, sind doch vorsichtige Rückschlüße möglich. Wesentliche Beiträge zur Frage der Innervation leisteten KATZENSTEIN (1894), NEUMAYER (1896), AMERSBACH (1922) und STUPKA (1924). Beim Hund fand man bei einseitiger Reizung des musculus cricothyreoideus folgendes Bild:

Einseitige Anhebung des Cricoidringes.
Drehung des vorderen Cricoidrings zur Seite der Kontraktion hin, sodass die hintere Kommissur zur nicht aktiven Seite hin abweicht.
Einseitige Verlängerung und Höhersteigen des Stimmbandes.
Rückwärtsgleiten des betreffenden Aryknorpels.

TSCHIASSNY (1944) schreibt dabei das Höhersteigen des Cricoids der Aktivität der pars recta und die Drehung der pars obliqua zu. Dieses Experiment wiederholte MÜNDNICH (1956) mit beidseitiger Reizung des musculus cricothyreoideus. Er bestätigte die Rückwärts- und Abwärtsbewegung des Cricoidringes, aus der eine straffe Stimmbandspannung und der Glottisschluß resultiere. Diese physiologische Analyse trägt erheblich zur Erkenntnis und zum Verständnis der Lähmung des Cricothyreoidmuskels bei.

MYGIND (1906) beschrieb zuerst die klinischen Symptome beim Vorliegen einseitiger und doppelseitiger Paralysen des musculus cricothyreoideus als Folge unterschiedlicher Krankheitsbilder, welchen im wesentlichen eine periphere oder zentrale Schädigung des nervus laryngis superior zugrunde lag : die Herabsetzung bzw. die Aufhebung der Reflexerregbarkeit der Kehlkopfschleimhaut; bei einseitiger Lähmung ein Schrägliegen der Glottis im horizontalen Plan; beim Phonieren das Ausbleiben der Verkleinerung des spatium cricothyreoideum.

Als Ursachen einer peripheren Lähmung kommen am häufigsten in Frage : iatrogene Verletzung bei Schilddrüsenexstirpation (DOEHNE 1941, KASPAR 1942, ARNOLD 1948, KECHT 1953, LUCHSINGER 1942 und 1965), Schädigung des Nerven durch rheumatische und entzündliche Affektionen sowie sekundär durch Entzündungen und Tumoren am Hals (s. LUCHSINGER 1949). Spezifische Erkrankungen wie die Diphtherie können ebenfalls solche Läsionen hervorrufen (LUCHSINGER 1942, 1949). Überanstrengung der Stimme führt nach LUBLINSKI (1901) und ARNOLD (1961) ebenfalls zu einer vorübergehenden Parese des musculus cricothyreoideus.

Den peripheren Ursachen stehen als zentrale gegenüber die Encephalomyelopathia syphilitica (MYGIND 1906), bulbäre Affektionen, degenerative Hirnerkrankungen (LUCHSINGER 1945), Gehirntumoren (LAWSON 1948) oder Gehirnblutungen (MAINZER 1931).

FEINSTEIN (1945) weist darauf hin, daß laryngoskopisch das Bild einer Lähmung des musculus cricothyreoideus durch eine Ankylosis des Cricoarytaenoidgelenkes vorgetäuscht werden kann.

MYGIND (19o6) und LUCHSINGER (1949) bezeichnen das Auftreten einer Lähmung des musculus cricothyreoideus als seltenes Ereignis. ARNOLD (1961) führt dies auf ein Unvermögen in der Diagnosestellung zurück in Übereinstimmung mit BERENDES (1956) und GREGG (1957), da immer noch Unklarheit und falsche Vorstellungen über das laryngoskopische Bild herrschen.

Früher wurde allgemein angenommen, daß bei der doppelseitigen Paralyse die Stimmritze sich als unregelmäßige, wellenförmige Linie darstelle, welche am stärksten in der Respirationsphase hervortrete (LUBLINSKI 19o1, MYGIND 19o6, MENZEL 193o). Bei der einseitigen Lähmung wurde ebenfalls ein wellenförmiges Stimmband beschrieben. Nach HOFER (1964) bleibt sie sogar symptomlos. Heute gilt es als gesichert, dass die einseitige Lähmung des musculus cricothyreoideus zu dem Verlust der äusseren Spannung des betroffenen Stimmbandes führt (MAINZER 1931 TARNEAUD 1937, DOEHNE 1941, KECHT 1953). Da nämlich der musculus cricothyreoideus der geschädigten Seite seine isotonische Kontraktion nicht mehr ausführen kann, verkürzt sich hier das Stimmband unterstützt durch die Einwirkung des musculus thyreoarytaenoideus, der sich unter diesen anormalen Bedingungen isotonisch kontrahiert (ZENKER und ZENKER 196o). Diese Längendifferenz zwischen den beiden Stimmbändern muss natürlich bei doppelseitiger Lähmung entfallen.

Ein Schrägstehen der Glottis wurde unwidersprochen beschrieben. (MYGIND 19o6, STUPKA 1924, LUCHSINGER 194o, PRESSMANN 1955, FAABORG-ANDERSEN et al. 1963).

Ein Höherstehen des betroffenen Stimmbandes bei einseitiger Parese (MENZEL 193o) wurde genauso beobachtet wie ein Tiefertreten desselben (MASSEI 19o6, MYGIND 19o6, JUDSON 1942, LUCHSINGER 1942). MAINZER (1931) und PRESSMANN (1955) hielten beides für möglich. Sie beobachteten, dass das geschädigte spannungslose Stimmband bei der Jnspiration angesaugt werde, also tiefer trete und bei der Exspiration durch den Luftstrom nach oben gewölbt werde, folglich auch höher stehe. KECHT (1953) beschrieb eine Hyperaemie des befallenen Stimmbandes. Eine Drehung des Aryknorpels nach aussen, hinten (LUBLINSKI 19o1, LUCHSINGER und ARNOLD 1949), bzw. ein Vorwärtsgleiten dieses Knorpels auf der Seite der Lähmung (MAINZER 1931, LUCHSINGER 1945, ARNOLD 1961) wird noch diskutiert.

LUCHSINGER (1949) weist auf die stimmlichen Phänomene innerhalb der Symptomatologie der musculus cricothyreoideus-Lähmung hin : Stimmschwäche mit rascher Ermüdbarkeit und Monotonie der Sprechstimme; als Folge der geringen Spannung des gelähmten Muskels eine auffällige Tiefe der mittleren Sprechtonlage sowie eine Einschränkung des Stimmumfanges.

Die aus klinisch - pathologischer Sicht sich störend auswirkende Adduktionsfunktion des musculus cricothyreoideus bei einer Recurrensparese soll schließlich nicht unerwähnt bleiben. Diese bewirkt die Stellung des Stimmbandes in der Paramedianstellung (FISCHER 1952, PRESSMANN 1955, FREEDMAN 1955, 1956, TSCHIASSNY 1957) und damit eine gefährliche Verengung der Glottis. JESCHEK 1928 empfahl daher die Ektomie des musculus cricothyreoideus als zusätzlichen Eingriff zur Laterefixation des Stimmbandes.

Jm Gegensatz zu den vielfältigen Untersuchungen des musculus cricothyreoideus, die im Hinblick auf die klinisch-laryngologische Problematik, insbesondere auf die Phoniatrie interessant sind, ist die Literatur über den musculus digastricus venter anterior nur spärlich. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass wir diesen Muskel innerhalb unserer elektromyographischen Untersuchungen am musculus cricothyreoideus als Vergleichsmaßstab anwandten. Seine Beschreibung wird sich daher auf die Morphologie und Funktion beschränken, die den Ausführungen von v.LANZ (1955) und PERNKOPF (1952) entnommen wurde.

Der musculus digastricus venter anterior oder auch musculus biventer mandibulae, bzw. venter mandibularis genannt, ist im trigonum colli ventrale gelegen. Er stellt mit dem Mundboden, dem Zungenbein und mit dem musculus stylohyoideus als hinteren Muskelschenkel der Zungenbeinlängsgürtung zusammen die Basis dieses Dreieckes dar.

Der Muskel ist der anatomisch und funktionell völlig getrennte vordere Anteil des musculus biventer. Mit dem unteren Bauch dieses Muskels, dem venter mastoideus, ist er durch eine Zwischensehne verbunden, welche seitlich am Zungenbeinkörper angeheftet ist. Vergleichend anatomisch ist zu bemerken, daß die meisten Wirbeltiere nur den venter mastoideus besitzen. Nur die Affen haben den zweibäuchigen Muskel wie der Mensch (GEGENBAUR 1899). Der venter mandibularis musculi digastrici entspringt mit einem stärkeren lateralen Teil an der Zwischensehne, indem er diese gegen das Kinn fortsetzt. Schwächere mediale Fasern entspringen auch unmittelbar vom Zungenbeinkörper. Nach einem engen Zusammenschluß dieser beiden Teile inseriert der Muskel fleischig in der fossa musculi biventeris des Unterkiefers. PERNKOPF sieht im Gegensatz zu v.LANZ an der fossa musculi biventeris den Ursprung, den Ansatz an der Schaltsehne. Gelegentlich können die Bäuche des musculus biventer anterior so nahe zusammenliegen, daß sie eine zweite, dem diaphragma oris aufliegende Platte bilden. Der Abstand der beiden Muskelbäuche schwankt zwischen 2 und 12 mm (TOLDT 19o8). Die Schaltsehne setzt nicht unmittelbar am Zungenbein an, sondern sie ist durch eine Fascienschlinge, die sich von ihrem Unterrande abfächert, am Zungenbeinkörper und an der Wurzel des großen Zungenbeinhorns befestigt (v.LANZ 1955). Wird diese Schlinge entfernt, so verändert sich die normale Topik des musculus biventer, indem sich der zwischen beiden Bäuchen befindliche Winkel abrundet und hebt (PERNKOPF 1952).

Die verschiedene Jnnervation der beiden Biventerbäuche lässt sich aus der Entwicklungsgeschichte ableiten. Der venter mastoideus wird vom nervus facialis (VII) innerviert, da er dem zweiten Kiemenbogen angehört. Der hier interessierende venter mandibularis wird als eine Abspaltung des musculus mylohyoideus aufgefaßt; er ist daher dem ersten Kiemenbogen zugehörig und wird wie dieser vom nervus mandibularis nervi trigemini (V/3) versorgt und zwar durch mehrere Äste des nervus mylohyoideus. Als Variation kann der venter mandibularis einen Ast vom nervus glossopharyngicus (IX) empfangen, wenn der ramus mylohyoideus selbst fehlt (POIRIER - CHARPY 19o2).

Als Funktion gibt v.LANZ bei festgestelltem Zungenbein Mithilfe bei Kieferöffnung und Kopfsenkung an; im übrigen hebt er das Zungenbein und damit den Mundboden. Eine Verletzung des Muskelbauches ist möglich im Rahmen einer Schädigung der Zungenbeingurtung, bei Unterkieferbrüchen ebenso wie bei solchen der Schläfenbeinfortsätze.

Elektromyographische Untersuchungen am musculus cricothyreoideus als einem ebenso dankbaren wie interessanten Untersuchungsobjekt der modernen Laryngologie stehen gegenüber solchen am musculus biventer anterior im Vordergrund, wenngleich auch dieser Muskel mit der Nadelelektrode ebenso gut zu erreichen ist wie der musculus cricothyreoideus.

Die Elektromyographie ist ein zuverlässiger und empfindlicher Jndikator bei der Analyse verschiedener Muskelaktionen. Es ist möglich, beim Menschen die Aktionspotentiale dieser Muskeln durch die H aut abzunehmen. BIEZANSKI und TLUCHOWSKI (1965) beschreiben, daß im ruhenden Muskel unter normalen Bedingungen keine elektrische Aktivität registriert wird. Andere Autoren fanden nur im tiefen Schlaf den Muskel ohne Aktionspotentiale. Jm Wachzustand zeigt die Skelettmuskulatur fortdauernd asynchrone Erregungen. Sie befindet sich in einem gewissen Spannungszustand; sie hält den Tonus aufrecht (REIN - SCHNEIDER 1956). Dieser Ruhetonus wurde auch in der Kehlkopfmuskulatur beschrieben (FEINSTEIN 1945-46, BERENDES 1954, FÄABORG - ANDERSEN 1957, CARACENI und ZIBORDI 1964).

VAN DEN BERG (1962) hält die Elektromyographie im wesentlichen für eine indirekte elektrische Methode, um Aufschluß über die mechanische Aktivität eines Muskels zu erhalten. Die Beziehung elektrische - mechanische Aktivität sei eine indirekte. Dies gehe nach folgendem Wirkungsprinzip : Die motorischen Aktionspotentiale kommen über motorische Nervenfasern und zwar über neuromusculäre Brücken auf eine definierte Anzahl von Muskelfasern. Die Gesamtheit von motorischer Nervenfaser und der von ihr innervierten Muskelfaser wird als motorische Einheit bezeichnet. Die motorische Endplatte erregt die Membran der Muskelfaser. Dieser Reiz wird dann mit einem kurzen Aktionsstrom beantwortet, dessen Amplitude ca. 100 mV beträgt. Diese Kurven werden dann vom Elektromyographen aufgezeichnet. Motorische Nervenfaser, Membran und kontraktiles Material der einzelnen Muskelfaser beantworten jeden Reiz nach dem Alles- oder Nichts-Gesetz.

Bei schwacher Kontraktion ist es nun möglich, die Entladungsfrequenz einer einzelnen motorischen Einheit aufzuzeichnen, wobei es natürlich durch Nebenschlüsse im Gewebe zu einer Entstellung der Form der einzelnen Aktionspotentiale kommt. Doch interessiert bei der Elektromyographie mehr die Zahl und die Aufeinanderfolge der Aktionen (REIN - SCHNEIDER 1956). Die Frequenz einer solchen motorischen Einheit erwies sich bei Messungen immer als gleichartig (BUCHTHAL und CLEMMESEN 1941). Eine Abstufung in der Kontraktion eines Muskels kann daher nur erreicht werden, wenn zunehmend mehr motorische Einheiten innerviert werden (REIN - SCHNEIDER 1956). Dabei ist es nicht mehr möglich, die einzelnen Potentiale einer

gegebenen motorischen Einheit zu analysieren, da nunmehr die Jnterferenzkurven der Aktionspotentiale zahlreicher motorischer Einheiten registriert werden. Die Jntensität einer Muskelkontraktion wird also bestimmt von der Zahl der innervierten motorischen Einheiten, gleichzeitig aber auch von der Zunahme der Jmpulsfrequenz der einzelnen Fasergruppen. Die Durchschnittsamplitude der integrierten Aktionspotentiale ist direkt proportional der Stärke der Kontraktion (WEGENER 1941, LIPPOLD 1952; JNMAN, RALSTON, de SAUNDERS, FEINSTEIN und WRIGHT 1952).

Bei schwacher Kontraktion entsendet eine einzelne Muskelfaser 3-4 Aktionspotentiale pro sec., bei maximaler Reizung 2o-5o/sec. (ADRIAN und BRONK 1929; KATSUKI 195o). Jn den Augenmuskeln, die größenmäßig etwa den Kehlkopfmuskeln entsprechen, wurden bei maximaler Kontraktion bis zu 15o-2oo Aktionspotentiale pro sec. beschrieben. BJÖRK und KUGELBERG 1953; BREININ und MOLDAVER 1955). GUERRIER, BASSERES und LETE (1964) unterschieden zweierlei elektrische Aktivitäten bei der elektromyographischen Untersuchung der Stimmbänder :

1. die Potentiale der motorischen Basiseinheiten, deren Kurve mehr oder weniger intermediär verläuft;
2. eine homorhythmische, zum geäusserten Ton auftretende Aktivität, welche einen mikrophonischen Effekt erzeugt, der sich der Kurve auflagert und ihre Auswertung erschweren kann.

Gleiches fanden GREINER, ISCH und ISCH - TREUSSARD et alii 196o.

Zusammenfassend wäre zur Auswertung des Elektromyogramms wohl die durchschnittliche Amplitudenhöhe und die Frequenz der Jmpulse der motorischen Einheiten kombiniert zu berücksichtigen, um nach ZENKER und ZENKER (196o) zu einer Aussage über die relative Stärke der Aktivität des Muskels zu gelangen.

Die Elektromyographie bei der Untersuchung der Kehlkopfmuskulatur angewandt, insbesondere unter experimenteller Berücksichtigung des musculus cricothyreoideus, bestätigte bereits vorliegende, auf Grund anderer Untersuchungsmethoden gewonnene Erkenntnisse und eröffnete weitere Aspekte. Über das bereits oben geschilderte Bestehen eines Ruhepotentials dürfte weitgehende Einigkeit bestehen (WEDDELL, FEINSTEIN und PATTLE 1944, BERENDES 1954, HUSSON 1955, ZENKER und ZENKER 196o, CARACENI und ZIBORDI 1964).

Hinsichtlich der Funktion des musculus cricothyreoideus während der Atmung bestehen trotz der elektromyographischen Untersuchungen weiterhin widersprüchliche Meinungen, die später noch ausführlicher referiert werden sollen. Übereinstimmung herrscht in der Literatur hinsichtlich des Bestehens einer Latenzzeit zwischen der aus der Elektromyogrammkurve ersichtlichen elektrischen Aktivität und dem Hörbarwerden eines Tons bei der Phonation (KATSUKI 195o, BERENDES 1954). Diese Latenz-

zeit hat nach FAABORG - ANDERSEN (1957) eine Dauer von 0,35 - 0,55 sec., während RANKE und LULLIES (1953) 0,1 sec. angeben. Ähnliche Werte fand ARNOLD 1961. Diese Erscheinung scheint die alte Theorie des "Jnneren Sprechens" (BERENDES 1954) zu bestätigen; die Kehlkopfmuskulatur bringt die Stimmbänder in die zur Phonation nötige Ausgangsposition, bevor der anblasende Luftstrom sie in Bewegung setzt (ARNOLD 1961).

Die durchschnittliche Entladungsfrequenz der einzelnen motorischen Einheiten im musculus cricothyreoideus während der Phonation liegen nach FAABORG - ANDERSEN (1957) bei 15-30/sec. in besonderen Fällen betrugen sie sogar 50/sec.. Gleiches fand KATSUKI (195o) im Gegensatz zu HUSSON (1955) und PORTMAN, ROBIN, LAGET und HUSSON (1956), die Frequenzen bis zu 12o/sec. im musculus vocalis beobachtet haben wollen.

JOHANNES MÜLLER (1937) und JELENFFY (1888) betrachteten die wachsende Jntensität der Stimme, also das Lauterwerden als eine Funktion des Luftdrucks in der Trachea. Die elektromyographischen Untersuchungen haben diese Anschauung bestätigt (KATSUKI 195o, FAABORG - ANDERSEN 1957).

SONNINEN (1956) beschrieb eine deutliche Verlängerung der Stimmlippen bei steigender Tonhöhe. Eine aktive Rolle kommt dabei dem musculus cricothyreoideus zu, wie es das Elektromyogramm beweist (FAABORG - ANDERSEN 1957, ZENKER und ZENKER 196o, ARNOLD 1961). Übereinstimmend beobachteten die Autoren auch, daß bei steigender Tonhöhe innerhalb eines bestimmten Registers ein größerer Anstieg der Aktivität des musculus cricothyreoideus zu verzeichnen ist, als bei Registerwechsel.

Unterschiedliche elektrische Aktivität der Kehlkopfmuskulatur bei der Phonation verschiedener Vokale, insbesondere des musculus cricothyreoideus wurde von FAABORG - ANDERSEN (1957) nicht beobachtet.

Die Überprüfung dieser Beobachtung und die Untersuchungen anderer respiratorischer Phänomene, wie das Verhalten des musculus cricothyreoideus und des musculus digastricus venter anterior beim Atmen, Husten und Schlucken ist Gegenstand unserer elektromyographischen Experimente.

M e t h o d i k .

Bei 3o gesunden Personen verschiedenen Alters und verschiedenen Geschlechtes wurden elektromyographische Untersuchungen am musculus cricothyreoideus sowie am musculus digastricus venter anterior beim Schlucken, Husten, Atmen und Phonieren durchgeführt. Zur genauen Auswertung wurden davon 12 Personen herangezogen, da, wie weiter unten geschildert, die Fehlerquellen teilweise zu an sich unverwertbaren Ergebnissen führen, ganz abgesehen von äusseren Störfaktoren (Klinikrufanlage, Polizeifunk, Ungeduld des Patienten usw.), welche ebenfalls in einigen Fällen infolge der Empfindlichkeit der elek-

tronischen Meßinstrumente eine exakte Auswertung der erhaltenen Elektromyogramme vereitelten. Wir wählten dabei Versuchspersonen mit einem schlanken Hals, welcher die muskulären Konturen gut erkennen ließ.

Der musculus cricothyreoideus ist im Vergleich zu der übrigen Kehlkopfmuskulatur relativ einfach percutan zu erreichen. Bei der Palpation zwischen Schild- und Ringknorpel sinkt der Finger in eine kleine Vertiefung, in das Spatium cricothyreoideum. Die Senke kann in etwa eine halbe Fingerkuppe aufnehmen. Sie wird verschlossen durch das ligamentum cricothyreoideum, welches wiederum von den musculi cricothyreoidei und den musculi sternohyoidei überlagert wird.

Der zum Vergleich herangezogene Muskel sollte ebenfalls leicht und sicher zugänglich sein. Diese Bedingung erfüllt der musculus digastricus venter anterior. Er liegt an der Oberfläche und erschien deswegen als günstig, da die ihn bedeckende fascia colli superficialis über seinem vorderen Muskelbauch nur eine verhältnismässig zarte Schicht bildet. Innerhalb seiner Gruppe, der suprahyoidalen Muskulatur, ist der musculus digastricus venter anterior in der Regel der massivste Muskel. Dies macht die Placierung der Elektroden relativ einfach.

Immerhin war die sichere Placierung der Elektroden bei der geringen Größe der zu untersuchenden Muskeln noch äusserst schwierig. Das Anlegen derselben war daher zunächst bei grossen Halsoperationen oft geübt worden.

Alle untersuchten Personen lagen bei der Untersuchung auf dem Rücken; der Kopf war weder überstreckt, noch nach vorne gebeugt. Es wurde versucht darauf zu achten, daß die eingenommene Lage während der Versuchsdurchführung möglichst nie geändert wurde.

Beim musculus cricothyreoideus wurde die Nadel etwa einen halben Zentimeter von der Mittellinie des Halses entfernt im Bereiche des ligamentum conicum eingeführt; beim musculus digastricus venter anterior 1/2 cm hinter dem mandibularen Ansatz. (Abbildung 1)

Von den beiden Muskelpaaren wurde jeweils nur ein Muskel untersucht und zwar immer der linke musculus cricothyreoideus, als auch der linke musculus digastricus venter anterior.

Die elektromyographischen Ableitungen bei unseren Untersuchungen wurden mit dem 3-kanaligen DISA-Elektromyographen mittels konzentrischer Nadenelektroden ausgeführt. (Abbildung 2)

Beim Husten und Schlucken betrug die Verstärkung immer 3o µVolt beim Atmen und Phonieren jeweils 15 µVolt. Die Filmgeschwindigkeit (5o mm/sec) sowie die Filterung (8o Hz) waren bei allen Ableitungen immer gleich.

Die eigentlichen Untersuchungen wurden erst dann begonnen, wenn man durch visuelle und akustische Kontrolle am DISA-Elektromyographen sicher war, daß sich die Nadelspitze in dem zu prüfenden Muskelteil befand.

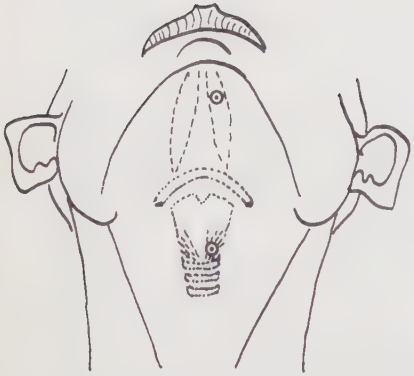


Abb. 1

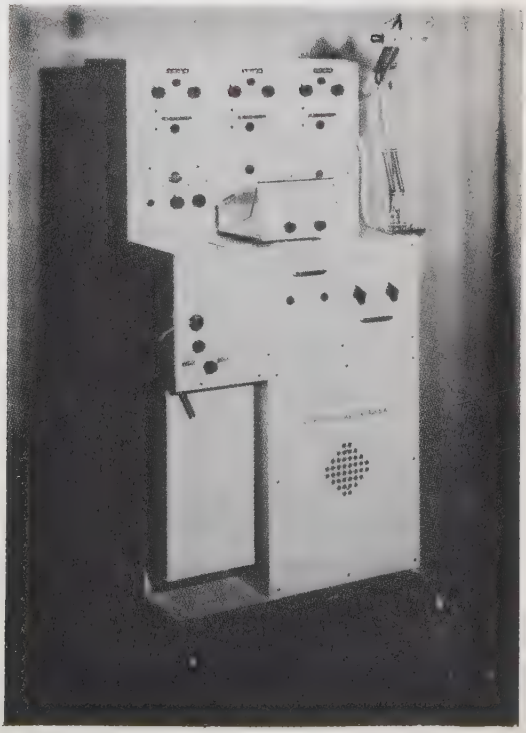


Abb. 2

Die Versuchspersonen begannen sodann, wie vorher abgesprochen, die ihnen genannten Aufgaben in der Reihenfolge unseres Programms auszuführen. Zuerst erfolgte die Ableitung der EMG-Kurven bei ruhiger Atmung. Daraufhin wurden die Versuchspersonen aufgefordert zu schlucken und zu husten. Die Phonation der einzelnen Konsonanten (B, D, K, L, R) und Vokale (E, I, O) erfolgte in normaler Sprechtonlage. Sämtliche Probanden waren hinsichtlich der Stimmführung ungeschult.

Selbstverständlich waren die Amplituden der registrierten Ableitungen (Spikes) bei den gleichen Muskeln von Fall zu Fall etwas verschieden. Es ist unmöglich ein einheitliches Maß zu finden, da die Amplitudenhöhe von geringgradigen technischen und physiologischen Fehlerquellen abhängig ist, mit denen der Versuch natürlicherweise behaftet ist.

So verändert sich die Amplitudenhöhe mit der Entfernung der registrierenden Nadelspitzen von den jeweils aktiven Fasern des Muskels.

Sie hängt bekanntlich aber auch noch ab vom Grad der Superposition der Aktivität mehrerer motorischer Einheiten.

Schließlich ist zu beachten, daß man bei den einzelnen Versuchspersonen meist nicht genau die gleiche Ableitungsstelle innerhalb des zu prüfenden Muskels trifft. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Amplitudenhöhe und der Frequenz der Impulse der motorischen Einheiten gewann man stets Anhaltspunkte für die relative Stärke der Aktivität des zu untersuchenden Muskelteiles beim Atmen, Schlucken, Husten und Phonieren.

Die ermittelten Spikemuster wurden in fünf Intensitätsgrade als jeweiliger Ausdruck der relativen Aktivitätsstärke des betroffenen Muskels bei den einzelnen Aktionen eingeteilt.

Die Aktivitätsstärke 1 entspricht einem sogenannten gelichteten Interferenzmuster. (Abbildung 3)
Die Aktivitätsstärke 2 entspricht einem Muster, das zwischen 1 und 3 liegt.
Die Aktivitätsstärke 3 entspricht einem sogenannten Übergangsinterferenzmuster. (Abbildung 4)
Die Aktivitätsstärke 4 entspricht einem Muster, das zwischen 3 und 5 liegt.
Die Aktivitätsstärke 5 entspricht einem sogenannten voll ausgebildeten Interferenzmuster. (Abbildung 5)

Die quantitativen Aussagen, die auf Grund der Myogramme gemacht werden konnten, wurden in den entsprechenden folgenden Diagrammen zusammengefaßt.

Es wurden von den gefundenen Aktivitätsstärken der einzelnen Muskeln beim Atmen, Schlucken, Husten und Phonieren bei allen untersuchten Personen jeweils die arithmetischen Mittel für die betreffenden Muskeln errechnet und der so gefundene Wert mit dem willkürlich gewählten Faktor 2 multipliziert und in Säulenform in das jeweilige Diagramm eingezeichnet. Dabei entspricht die Höhe einer Säule dem errechneten Mittelwert für

3)

4)

5)

Abb. 3-5

die durchschnittliche Aktivitätsstärke des entsprechenden Muskels während des einzelnen Funktionsablaufes, der bei den Probanden in der Reihenfolge des Programms geprüft wurde. Um einen allgemeinen Überblick zu gewinnen, erfolgte zunächst in dem Diagramm auf Abbildung 6 eine graphische Gegenüberstellung der Aktivitätsstärken beim Schlucken, Husten, Ein- und Ausatmen sowie beim Phonieren der einzelnen Vokale und Konsonanten für den musculus digastricus venter anterior auf der linken und für den musculus cricothyreoideus auf der rechten Seite. Zur Erleichterung einer vergleichenden Betrachtung der Ergebnisse wurden in den Abbildungen 7-12 die Funktionsabläufe in den Diagrammen paarig nebeneinander gestellt. Dabei beziehen sich die oberen Kolumnen auf die Muskelaktivitätswerte des musculus digastricus venter anterior (I) und die unteren auf die des musculus cricothyreoideus (II).

Diese Methode hat natürlich ihre Grenzen. So wurden deshalb nur eindeutige Kurvenunterschiede innerhalb der genannten Auswahl der Probanden registriert. Jede Aktion wurde bei jeder Versuchsperson mehrmals wiederholt. Genau wurde dabei auf ein eventuelles Verrücken der Nadelspitze im Verlauf einer Versuchsserie geachtet.

B e f u n d e .

Die beiden von uns untersuchten Muskeln, der musculus cricothyreoideus sowie der musculus digastricus venter anterior zeigten auf dem Elektromyogramm unterschiedliche Aktivität. (Abbildung 6)

Beim musculus cricothyreoideus war die gemessene relative Aktivitätsstärke am grössten beim Schlucken. Beim Einatmen wurde eine stärkere Beteiligung des Muskels festgestellt als bei der Ausatmung. Jn etwa der gleichen Größenordnung wie bei der Respiration befand sich der Aktivitätsgrad des musculus cricothyreoideus beim Husten. Bei der Phonation war der Aktivitätsanteil des musculus cricothyreoideus deutlich größer als bei der ruhigen Atmung und auch größer als beim Hustenvorgang. Jnnerhalb der verschiedenen Vokale und Konsonanten ergaben sich jedoch keine bedeutenden Unterschiede hinsichtlich der Quantität des Aktivitätsanteiles. Der musculus digastricus venter anterior war ebenfalls beim Schluckvorgang am stärksten aktiv, und zeigte auch beim Husten einen großen relativen Aktivitätsanteil. An der Atmung scheint er nur unbedeutend beteiligt zu sein; denn es fand sich kein Unterschied hinsichtlich der relativen Aktivitätsstärken während des Ein- und Ausatmens. Wir schließen daraus, daß die gefundenen tabellarisch sich ergebenden Werte nahe dem Ruhepotential des Muskels liegen. Hinsichtlich der Phonation ergaben sich bei den einzelnen Konsonanten und Vokalen eindeutig registrierbare Kurvenunterschiede. Am stärksten beteiligt war der musculus digastricus venter anterior nach unseren elektromyographischen Ergebnissen bei der Phonation von B und R. Annähernd gleich große Aktivität zeigte

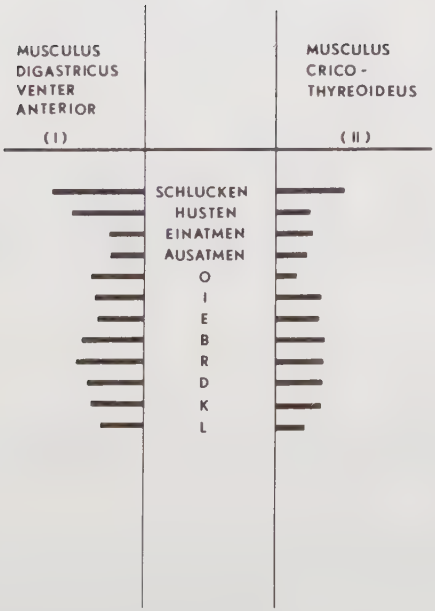

MUSCULUS
DIGASTRICUS
VENTER
ANTERIOR
(I)
MUSCULUS
CRICO -
THYREOIDEUS
(II)
SCHLUCKEN
HUSTEN
EINATMEN
AUSATMEN
O
I
E
B
R
D
K
L

Abb. 6

der Muskel bei den Konsonanten D, L und K, ebenso wie innerhalb der Vokalgruppe. Bei der Bildung des Vokales O war der elektrische Aktivitätsanteil des musculus digastricus venter mandibularis am stärksten ausgeprägt.

Bei der Gegenüberstellung der elektrischen Aktivitätsanteile des musculus cricothyreoideus sowie des musculus digastricus venter anterior bei der Durchführung derselben Tätigkeit ergab sich eine wesentlich größere Aktivität des musculus digastricus beim Schlucken ebenso wie beim Husten. (Abbildung 7)

Bei der Jnspiration war der musculus cricothyreoideus sogar aktiver als der musculus digastricus, während bei der Exspiration der relative Aktivitätsanteil des musculus cricothyreoideus unter dem des musculus digastricus lag. (Abbildung 8)

Bei der Phonation überschritt die Größe der elektrischen Aktivität des musculus cricothyreoideus in keinem Fall die des musculus digastricus. (Abbildungen 9-12)

Die beiden untersuchten Muskeln, die zwei verschiedenen Muskelgruppen zuzurechnen sind, zeigen beide beim Husten, Schlucken, Atmen und Phonieren elektrische Aktivität. Es ist also wohl zulässig, den einen zum Vergleich des anderen als punctum fixum heranzuziehen. Jn den von uns angegebenen Diagrammen ist eine übersichtliche und rasche Orientierung möglich, um eine detailierte physiologisch-anatomische Übersicht über die Tätigkeit der hier interessierenden Muskeln zu erhalten.

B e s p r e c h u n g d e r E r g e b n i s s e .

Aus der graphischen Darstellung der elektrischen Aktivität des musculus cricothyreoideus ist ersichtlich, daß der Muskel beim Ein- und Ausatmen, Husten, Schlucken und Phonieren jeweils aktiv ist.

Die Atmung ist ein wichtiger Reflexvorgang, der mit einer aktiven Veränderung der Weite der Stimmritze einhergeht (RANKE und LULLIES 1953). Jhre Erweiterung während der Jnspiration, sowie entsprechend ihre Verengung bei der Exspiration sind auf Jmpulse im afferenten Vagussystem zurückzuführen. Bei ruhiger Atmung spielt diese reflektorische Einstellung eine zwar geringere, aber dennoch nicht zu vernachlässigende Rolle. Es war schon lange Zeit bekannt, daß die Stimmbänder in ständiger Pendelbewegung um ihre Ruheposition sind (JURASZ 19o1, STUPKA 1924, WELEMINSKY 1926, TSCHIASSNY 1944, 1957). Diese Bewegung wird auf entsprechende Muskelaktionen zurückgeführt.

Es wird jedoch auch die Ansicht vertreten, daß bei ruhiger Atmung keine Beweglichkeit der Stimmbänder, folglich auch keine Muskelaktion festzustellen sei (BARWELL 19o5, ARNOLD 1961).
Bei unseren Untersuchungen ergab sich bei normaler Atmung eine elektrische Aktivität im musculus cricothyreoideus, wie es aus dem Vergleich von Ein- und Ausatmungsgröße klar ersichtlich

Abb. 7

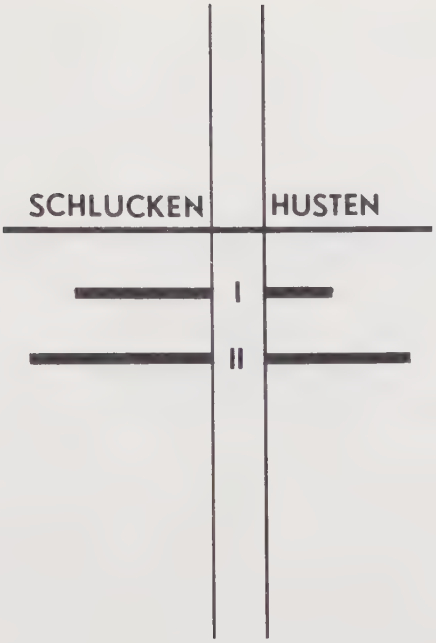
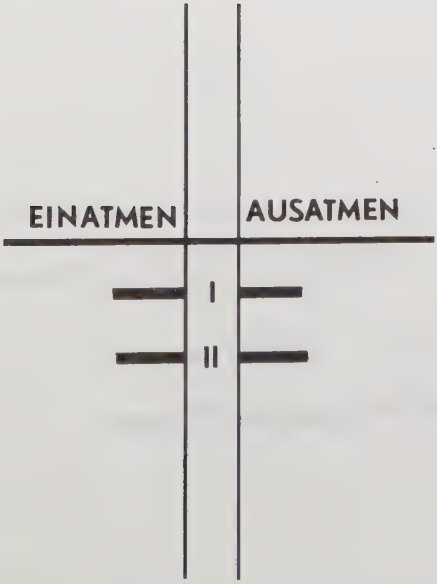
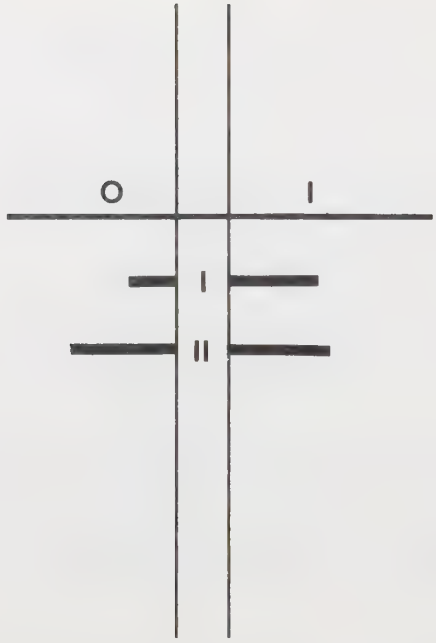


Abb. 8




O
I
I
II

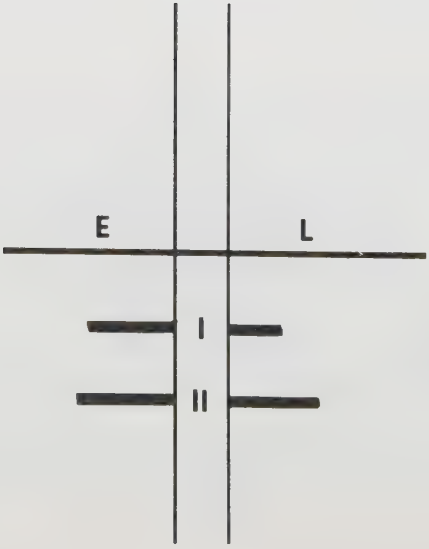

E
L
I
II

Abb. 11

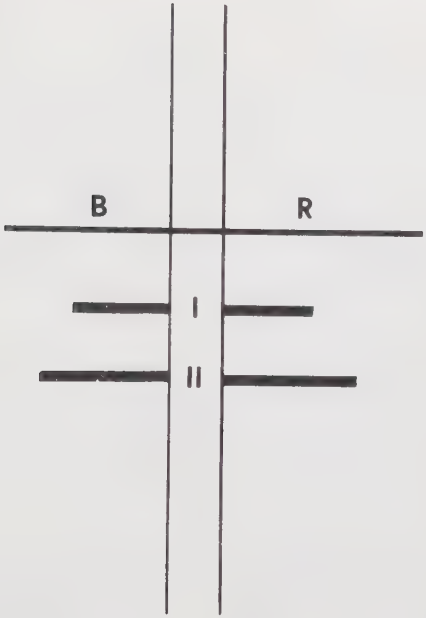
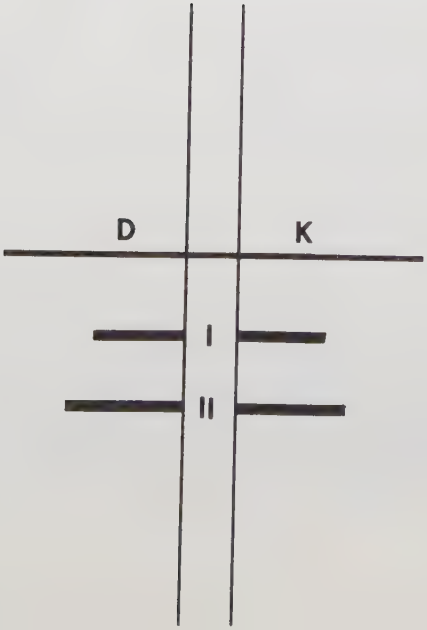


Abb. 12



ist. Bestünde keine oder besser keine unterschiedliche Muskelaktion beim Ein- und Ausatmen, so müßten beide Werte gleich sein. Die Literatur weist unterschiedliche Meinungen hinsichtlich der Funktion des musculus cricothyreoideus bei der Respiration auf.

KUTTNER und KATZENSTEIN (19oo), GROSSMANN (19oo, 1898) und KRAUSE (19o1) beschrieben, daß die Jnspiration von einem Anwachsen des Tonus in den Abduktoren begleitet sei und ebenso von einer Erschlaffung der Adduktoren, mithin also auch des musculus cricothyreoideus. Gleiches beobachteten auf Grund elektromyographischer Untersuchungen FINK, BASEK und EPANCHIN (1956), MURTHAG und CAMPBELL (1956), NAKAMURA (1958), UYEDA und SONODA (1958). Die zuletzt genannten Autoren führten ihre Versuche an anästhesierten Hunden durch. Sie fanden eine größere Jmpulsfrequenz in den Adduktoren bei beginnender Exspiration im Vergleich zu den Abduktoren; diese zeigten zu Beginn der Jnspiration elektrische Aktivität mit einem Gipfel am Ende der Jnspirationsphase. Als weiteren interessanten Befund gaben einige motorische Einheiten phasische Jmpulse, deren Frequenz mit dem respiratorischen Zyklus stieg und fiel. Auch ARNOLD (1961) hält auf Grund seiner detailierten Untersuchungen den musculus cricothyreoideus für einen Exspirationsmuskel.

Diese Auffassung war und ist nicht unwidersprochen. ANDREW (1955) demonstrierte bei Untersuchungen an Ratten elektromyographisch klar beweisbar, daß der musculus cricothyreoideus während der Jnspiration, nicht aber während des Exspiriums Aktivität zeige. CARACENI und ZIVORDI (1964) erhielten ebenfalls bei der Auswertung ihrer Elektromyogramme einen Anstieg der Muskelaktivität bei der Jnspiration. FAABORG-ANDERSEN (1957) fand bei normaler Atmung während des Jnspiriums einen Anstieg der Amplitude der elektrischen Aktivität bis zu 5oo µV gegenüber einem Ruhepotential von 2oo µV. Keine Änderung zeigte sich während der Exspiration. Dies war auch das Ergebnis unserer Versuchsanordnung, welche die Ergebnisse von FAABORG-ANDERSEN bestätigt; sie stehen im Widerspruch zu ARNOLD's diesbezüglicher Aussage. Der errechnete relative Aktivitätsgrad für den musculus cricothyreoideus ist beim Einatmen größer als beim Ausatmen.

Diese Aussage scheint nach folgender Überlegung auch als möglich. Es ist bekannt, daß sich die äusseren Kehlkopfmuskeln bei der Jnspiration kontrahieren, um ein Tiefersteigen des Kehlkopfes zusammen mit der Luftröhre zu verhindern (MITCHINSON und YOFFEY 1947, ANDREW 1955). Durch diese Kontraktion der äußeren Kehlkopfmuskeln gleitet der Schildknorpel nach rückwärts (SCHILLING 1937). Dabei sind die Stimmbänder verkürzt, abduciert und entspannt (MICHEL 1954), sodaß sie lose hängen würden. Dies tun sie, wie laryngoskopisch leicht feststellbar, aber nicht, was u.E. auf die Kontraktion des musculus cricothyreoideus zurückzuführen ist. Diese Spannung der Stimmbänder in der Jnspiration durch den musculus cricothyreoideus erklärte sinnvoll seine elektrischen Aktivitätszeichen.

Des weiteren wurden von uns die Funktion, bzw. die Aktivitätsanteile des musculus cricothyreoideus beim Schlucken und Husten untersucht.

Bei den Säugetieren ist der Kehlkopf ständig offen, und wird verschloßen beim Schluckreflex durch Unterschieben des Kehlkopfeinganges unter die Zunge (CZERMAK 1879). Durch den Schluckreflex wird die eingespeichelte Nahrung in den Magen befördert. Zur Verhinderung einer Fehlleitung derselben in die Luftröhre wird der Kehlkopf mittels des Kehldeckels verschlossen, indem der Kehlkopf hochgezogen wird und die Epiglottis sich darüber legt. Es kommt gleichzeitig zu einem Atemstillstand. Dieser Akt des Schluckens wird rein reflektorisch ausgelöst. Die zentripetalen Nerven sind sensible Fasern des nervus Glossopharyngicus und des nervus laryngicus cranialis (REIN - SCHNEIDER 1956).

Beim Schlucken ist die Kehlkopföffnung also verschloßen. Jm Tierversuch wurde gezeigt, daß der inspiratorische Schluß beim Schlucken durch die Stimmbänder bewirkt wird (BRUNTON 1883). Die Stimmbänder haben also die Funktion von Klappen, welche allein durch den Luftdruck ohne muskuläre Unterstützung den Verschluß bewirken sollen (PRESSMANN 1944). Elektromyographische Untersuchungen beim Schlucken wurden von DOTTY und BOSMA (1956) an Affen, Katzen und Hunden durchgeführt. Sie verfolgten dabei die Aktionen von 22 verschiedenen Muskeln des Mundes, darunter auch des musculus cricothyreoideus. Sie demonstrierten, daß sich die Kehlkopfmuskeln in der letzten Phase des Schluckens im gleichen Augenblick zusammenziehen wie der mittlere Abschnitt des musculus constrictor pharyngis, aus welchem ja entwicklungsgeschichtlich der musculus cricothyreoideus hervorgeht. Als erste Muskeln kontrahieren sich dabei der musculus thyreoarytäenoideus und der musculus arytaenoideus; sodann folgen der musculus constrictor pharyngis, sowie der musculus cricothyreoideus.

FAABORG - ANDERSEN (1957) fand ein beträchtliches Anwachsen der elektrischen Aktivität im musculus cricothyreoideus während des Schluckvorganges. Die Amplitude des Aktionspotentialmusters war hierbei sogar größer als bei der Phonation des Vokales "e". Jm Gegensatz zu PRESSMANN (1944) ist also doch eine aktive Mitarbeit der Kehlkopfmuskulatur nachweisbar. Dieser Befund FAABORG-ANDERSEN's wurde auch durch die hier vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigt. Wie aus der graphischen Darstellung ersichtlich, ist der relative Aktivitätsgrad des musculus cricothyreoideus beim Schlucken am größten, und ist ebenfalls größer als bei der Phonation des Vokales "e", wie übrigens auch sämtlicher übriger Vokale.

MARSHALL (1868) beschrieb den Kehlkopf als ein Sicherheitsventil, der durch einen sphinkterähnlichen Effekt Ein- und Ausstrom von Luft kontrolliere. Als Klappenanteile funktionieren dabei die Taschenbänder (LAUDER - BRUNTON und CASH 1883, STARLING 1936); die ary-epiglottischen Falten (STUART 1891/92, NEGUS 1938), sowie die Stimmbänder (STUART 1891/92, PRESSMANN 1941). LAUDER - BRUNTON und CASH (1883) und WYLLIE (1866) veröffentlichten ausführliche Studien über den inspiratorischen

Schluß der echten Stimmbänder beim Schlucken. Diese hielten einem Druck von oben bis zu einer Größe von 14o mm Quecksilbersäule stand. Dem Druck der ausströmenden Luft von unten setzten sie keinen Widerstand entgegen. Die Oberfläche der Stimmbänder stellt sich dann als breite, ebene, an jeder Seite ausgehöhlte Fläche dar. Von der Trachea aus betrachtet, neigt sie sich schräg nach auswärts und abwärts und bildet so einen Winkel. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Stimmbände: nach dem Prinzip von Einwegklappen arbeiten, indem sie den Ausstrom, nicht aber den Einstrom von Luft sowie flüssigen und festen Körpern zulassen.

Wenn auch über diese Leistung des Kehlkopfes Einigkeit bestand, so neigten die früheren Autoren doch mehr zu der Auffassung, der Verschluß geschehe auf Grund mechanischer Gegebenheiten und nicht unter aktiver Beteiligung der entsprechenden Kehlkopfmuskulatur (STUART 1891/92, JACKSON und JACKSON 1922). PRESSMANN (1944) hielt ein Minimum an Muskelaktivität für möglich. Dem widersprechen eindeutig die oben erwähnten Ergebnisse von FAABORG-ANDERSEN (1954) sowie das Resultat der vorliegenden Arbeit. Es erscheint auch bei theoretischer Überlegung einleuchtend, daß der adducierende musculus cricothyreoideus beim Schluß der Stimmbänder einen erheblichen, aktiven Beitrag leistet. Eine genauere Revision und Erforschung dieses Vorganges könnte interessante Perspectiven hinsichtlich der Pathologie und Physiologie aufwerfen.

Beim Husten hingegen zeigte der musculus cricothyreoideus in unseren Untersuchungen kaum nennenswerte Aktivität. Der gefundene relative Aktivitätsgrad lag sogar unter dem des musculus cricothyreoideus beim Jnspirium. Zur Jnterpretation dieses Ergebnisses ist eine kurze physiologische Betrachtung des Hustenreflexes und -vorganges nötig.

Der Hustenreflex, welcher in der Narkose länger bestehen bleibt als der Cornealreflex (SEMON und BORSELY 189o zit. nach NAGEL 19o4), nimmt unter Einbeziehung von Teilen des Atemzentrums in dem Reflexbogen seinen Ausgang von Receptoren der Kehlkopfschleimhaut. Als afferenter Nerv dienen sensible Vagusfasern im nervus laryngicus superior. Husten kann sowohl willkürlich als auch rein reflektorisch hervorgerufen werden. Den efferenten Schenkel des Reflexbogens vervollständigen motorische Nervenfasern, welche die Hilfsmuskulatur der Atmung versorgen wie z.B. die Jntercostalmuskeln, das Zwerchfell und die langen Halsmuskeln (BROWN und ARCHIBALD 1927). Durch die vorausgehende tiefe Jnspiration und die gleichzeitige Kontraktion der auxiliären Atemmuskulatur steigt bei geschlossenem Kehlkopf der intrathorakale Druck stetig an. Es kommt zu einer stoßartigen Exspiration unter Sprengung des Kehlkopfverschlusses und Ausstoßung des Fremdkörpers (REIN - SCHNEIDER 1956).

Einen einseitigen Kehlkopfreflex beschrieb KATZENSTEIN (19o5, 19o8). Bei einseitiger Berührung der Schleimhaut mit einer Sonde bewege sich die gleichseitige Stimmlippe medianwärts. Das zugehörige Reflexzentrum liegt in der medulla oblongata.

Da also wiederum ein Verschluß des Kehlkopfes vorliegt, würde man eine Aktivität im adduktorischen musculus cricothyreoideus erwarten. Eine solche ergab sich aber während unseres Versuches nicht, wobei wir uns zu den Ergebnissen von FAABORG - ANDERSEN in Widerspruch befinden. Dieser fand auch beim Husten ein Ansteigen der elektrischen Aktivität im musculus cricothyreoideus, deren Amplitude annähernd der des Schluckens glich. Wir konnten eine solche Steigerung nicht beobachten, und finden dieses Ergebnis durch folgende Erwägungen vertretbar.

LISTER (1881), STUART (1891/92) und MULLIN (1928) beschrieben beim Husten den sphinkterartigen Verschluß des Kehlkopfes durch Schluß der Taschenbänder, sowie der aryepiglotischen Falten. MARSHALL (1868) bezeichnete die Taschenbänder als Klappen, die den Ausstrom von Luft verhinderten. LAUDER-BRUNTON und CASH (1883) demonstrierten hierzu an Leichenkehlköpfen, daß die Taschenbänder in geschlossenem Zustand einem Druck von oben keinerlei Widerstand entgegensetzen. Sie halten aber einem Druck in rostraler Richtung von der Trachea her bis zu einem Maximum von 3o mm Hg ohne muskuläre Unterstützung stand.

Wie oben bereits ausgeführt, setzen die Stimmbänder dem Druck von unten her keinen Widerstand entgegen. Jhre Annäherung zur zusätzlichen Unterstützung des Kehlkopfverschlusses beim Hustenvorgang dürfte wohl mehr auf mechanische Grundlagen zurückzuführen sein. Da sich die Anspannung des musculus cricothyreoideus auf die Lage und Form der Stimmbänder auswirkt und nicht auf die der Taschenbänder, so erscheint unser Ergebnis einleuchtend. Hierzu wäre noch hinzuzufügen, daß in Fällen von beidseitiger Adduktorenlähmung der Kehlkopfmuskeln der Hustenreflex ungemindert erhalten bleibt (JACKSON und JACKSON 1922). Die verschiedenen Vorgänge bei der Bildung der Stimme und Sprache waren Gegenstand mannigfaltiger Untersuchungen.

RANKE und LULLIES (1953) beschreiben den komplizierten Vorgang folgendermaßen :

Der Stimmapparat funktioniert nach dem Prinzip eines Blasinstrumentes, bei dem ein Luftstrom aus einem Windraum (Lunge, Bronchien, Trachea) durch einen schwingenden Spalt (Stimmritze) austritt, und den Luftraum in einem Ansatzrohr (Pharynx, Nase und Nebenhöhlen) in Schwingungen versetzt. Jm Zusammenhang mit der Auslegung unserer Versuchsergebnisse, nämlich der Rolle des musculus cricothyreoideus während der Phonation verschiedener Laute, dürfte dabei am meisten die Rolle der Stimmbandschwingungen interessieren. Um eine Stimme zu erzeugen, muß ein beträchtliches Volumen Luft in der Lunge vorhanden sein, welches dann unter Druck wieder ausgestoßen wird (NEGUS 1935). Beim Sprechen sowie natürlich auch beim Singen, vergrössert sich das Volumen der Atmung gegenüber der Ruheatmung unter Verschiebung des Verhältnisses von thorakalem und abdominalen Atemtypus (GUTZMANN 19o2, 1928, SCHILLING 1925). Weiterhin wird die Jnspirationsdauer zu Gunsten der Exspirationsdauer verkürzt (PANCONZELLI - CALZIA 1919). Es kommt dann zu einem teilweisen oder vollständigen Schluß der Glottis und zu einem Ausstoßen

des Luftstromes (NEGUS 1935). Der Mechanismus dieses Glottisschlusses unter zunehmender Spannung und Verkürzung der Stimmbänder wird im Hinblick auf seine Registerabhängigkeit viel diskutiert (MUSEHOLD 1898, WEISS 1914, TRENDELENBURG und WULLSTEIN 1935). Hinsichtlich des Luftaustrittes entwickelten sich im Laufe der Zeit drei Theorien :

1) Die myoelastische Theorie, vertreten von MÜLLER (1837), WYLLIE (1866), JELENFFY (1888) und WETHLO (1949).

2) Die Erweiterung der vorausgehenden Theorie brachte dann die aerodynamische Theorie TONNDORF (1925) und SMITH (1954).

3) Zur Zeit wird im Gegensatz dazu noch die revolutionäre neuromusculäre Theorie HUSSON's (1951) debattiert.

Die meisten Untersuchungen, auch auf elektromyographischer Basis bezüglich der Rolle, die der musculus cricothyreoideus bei der Stimmgebung spielt, waren solche, die sich mit seiner verschieden großen Aktivität beim Singen mit steigender Tonhöhe, bzw. beim Registerwechsel beschäftigten. Darüber herrscht auch allgemein Einigkeit (KATSUKI 195o, SONNINEN 1956, FAABORG - ANDERSEN 1957, ZENKER und ZENKER 196o, ARNOLD 1961).

Jn dem vorliegenden Versuch wurde nun die elektrische Aktivität des musculus cricothyreoideus beim Phonieren verschiedener Vokale und Konsonanten gemessen. Jn allen Fällen fand sich elektrische Aktivität. Die relativen Aktivitätsgrade lagen im Durchschnitt über denen der Jn- und Exspiration, obgleich bei der Phonation mit normaler Sprechstimme von seiten des musculus cricothyreoideus weniger elektrische Aktivität gezeigt wird, da der durchschnittliche Sprechbereich nahe der neutralen Ruheposition des gesamten Kehlkopfes liegt (ZENKER und ZENKER 196o). Dies war zu erwarten, nachdem, wie oben ausgeführt, vor der Ausstoßung der Luft ein Glottisschluß erfolgt.

Geringfügige Unterschiede ergaben sich zwischen den einzelnen relativen Aktivitätsstärken der einzelnen Konsonanten und Vokale. Diese dürften aber wohl nicht auf einer verschiedenen Aktionsbeteiligung des musculus cricothyreoideus zurückzuführen sein, sondern wohl eher auf gewisse Fehlerquellen in der Versuchsdurchführung. Die Versuche wurden hinsichtlich der Stimmführung an ungeschulten Personen durchgeführt, und so konnte nicht jeder Buchstabe in derselben Tonhöhe phoniert werden. Bei steigender oder fallender Tonhöhe wechselt jedoch bereits die Aktion des musculus cricothyreoideus und damit seine elektrische Aktivität, genauso wie beim Registerwechsel. Als weitere Fehlerquelle kommt die Art des Stimmeinsatzes, nämlich gehaucht, weich und hart, in Betracht, der ebenfalls mit einer Stellungsänderung der Stimmlippen einhergeht (RANKE und LULLIES 1953).

Wir können hier nur die Ergebnisse FAABORG-ANDERSEN's bestätigen, der ebenfalls keine funktionell bedeutenden Unterschiede fand. Folgende zusätzliche Überlegung macht unser Versuchser-

gebnis wahrscheinlich. Stimmloses Sprechen, sowie Flüstersprache ist gleichbedeutend mit Sprechen ohne Tongebung durch den Phonationsapparat des Kehlkopfes (REIN - SCHNEIDER 1956). Auch können Menschen ohne Kehlkopf nach einer Laryngektomie ohne besondere prothetische Apparate wieder verständlich sprechen. Der Kehlkopf reguliert also bei der Phonation den mit einer gewissen Geschwindigkeit anblasenden Luftstrom und ist damit verantwortlich für die Grundschwingungen; die akustischen Sprachzeichen der Vokale und Konsonanten werden im Ansatzrohr, insbesondere in der Mundhöhle geformt.

Der ebenfalls untersuchte musculus digastricus venter anterior zeigte gleichermaßen beim Schlucken, Husten, Atmen und Phonieren elektrische Aktivität. Nach CARLSSÖ (1956) findet sich im musculus digastricus venter anterior ebenfalls eine gewisse Ruheaktivität als Ausdruck der Funktion des Muskels, das Hyoid in seiner Lage zu halten. Ein Herabziehen der Mandibula wird dagegen ausgeglichen durch die Gegenkraft der Elevatoren, vor allem durch die des musculus temporalis. Es ist also Aufgabe des musculus digastricus venter anterior, zusammen mit den Muskeln, die der Mandibula angeheftet sind, die Mandibula in ihrer gewöhnlichen Ruhestellung zu halten. Ein stufenweises Anwachsen der elektrischen Aktivität der suprahyoidalen Muskulatur erfolgt bei den entsprechenden Öffnungsbewegungen. Unter diesem Gesichtspunkt nimmt es auch nicht wunder, dass der musculus digastricus venter anterior bei der Respiration keine sonderlich gesteigerte elektrische Aktivität zeigt. Diese Annahme wird gestützt durch die Tatsache, daß in unserem Versuch kein Unterschied hinsichtlich der elektrischen Aktivität des musculus digastricus venter anterior beim Jnspirium und bei der Exspiration gefunden werden konnte. Die Werte der errechneten relativen Aktivitätsgrade des Muskels entsprachen einander vollkommen. Bestünde irgendeine gesteigerte Arbeitsleistung des musculus digastricus venter anterior, so wäre wohl ein Anstieg während der Jnspiration zu erwarten gewesen, um eine Beteiligung im Sinne einer Unterstützung der Kehlkopfmuskulatur, d.h. ein Tiefersteigen des Kehlkopfes zusammen mit der Trachea zu verhindern (ANDREW 1955). Offenbar ist die Verspannungsmuskulatur der Zungen-Hyoid-Larynxsäule an diesem Haltevorgang nicht beteiligt, sondern die äusseren Kehlkopfmuskeln allein genügen, um den Descensus zu verhindern.

Beim Schluckakt war der musculus digastricus venter anterior am aktivsten. Diese grosse Aktivität wird erklärt und bestätigt durch folgende anatomisch-funktionelle Betrachtung. Beim Schluckakt ist der Ursprung des musculus digastricus venter anterior an der Mandibula zu suchen. Diese bleibt während des Schluckens fixiert. Durch die Kontraktion des musculus digastricus venter anterior mit der Unterstützung anderer Muskeln wird das Zungenbein nach vorne oben gezogen. Das Hyoid, welches der Zunge als Mundhöhlenorgan, dem Kehlkopf als Teil des unteren Luftweges und dem Pharynx als Mittler zwischen den beiden Organen gemeinsam ist, erzwingt durch diese Bewegung eine Form- und Lageveränderung der drei beteiligten Organe. Der Schluckakt wird ermöglicht durch einen Verschluß des Luftweges, indem der dreifach zusammenhängende Komplex von Zunge, Pharynx

und Larynx nach oben steigt, und der Kehlkopf der Zunge unterschoben wird (PERNKOPF 1952). Zusammen mit dem musculus geniohyoideus ist der musculus digastricus venter anterior also am Schluckakt beteiligt. Die große gemessene relative Aktivitätsstärke entspricht also seiner Funktion. Die Übereinstimmung von erwarteten und sich aus dem Elektromyogramm tatsächlich ergebenden Aktivitätsstärken darf wohl als Sicherung für die Richtigkeit unserer Versuche und Auswertungsmethoden angesehen werden. Beim Husten zeigte der musculus digastricus venter anterior ebenfalls große Aktivität. Die relative Aktivitätsstärke erwies sich zwar als geringer als beim Schluckakt sie war aber eindeutig grösser als bei der Respiration, und auch deutlicher ausgeprägt als beim Phonieren. Während des Hustenvorganges ändert das Zungenbein seine Position nicht. Es dient nun dem musculus digastricus venter anterior als Ursprung Die Mandibula wird zum Ansatz, durch die Kontraktion des Muskels herabgezogen und dem Hyoid genähert. Der Mund wird durch die Tätigkeit des musculus digastricus venter anterior aktiv geöffnet. Diese Mundöffnung, wie sie beim normalen Hustenvorgang erfolgt, mag die große Aktivitätsstärke hinreichend erklären. Der musculus digastricus venter anterior findet eine Unterstützung in dieser Tätigkeit durch den musculus mylohyoideus und den musculus geniohyoideus. Gleiche Ergebnisse fand MOYERS (1950) bei der Abnahme der elektrischen Aktivität der suprahyoidalen Muskulatur mit Oberflächenelektroden.

Während der Phonation verschiedener Vokale und Konsonanten zeigte der musculus digastricus venter anterior ein unterschiedliches Aktivitätsmuster. Grundsätzlich waren die von uns gemessenen und errechneten Werte größer als bei der Respiration und kleiner als während des Husten- und Schluckvorganges. SHELTON, BOSMA und SHEETS (1960) fanden bei röntgen-kinematographischen Filmaufnahmen die gleiche Bewegung der Zunge-Hyoid-Larynx-Säule bei zwei so fundamental verschiedenen Tätigkeiten, wie sie der Schluckakt und die Phonation darstellen. Da der musculus digastricus venter anterior am Hyoid fixiert ist, müßten nach dieser Beobachtung seine relativen Aktivitätsstärken von gleicher Größe sein. Dies war bei unseren Untersuchungen nicht der Fall.

Die akustischen Sprachzeichen der Konsonanten und Vokale entstehen im Ansatzrohr, insbesondere in der Mundhöhle. Dass hier Eigentöne produziert werden können, mag ein einfaches Experiment wie folgt demonstrieren : Man gibt dem Mundraum die Stellung der verschiedenen Vokale und beklopft die Backenwand von aussen mit einem Stäbchen. Jedem Vokal entspringt dann ein bestimmter Klangeindruck, da der verschiedenen Dimensionierung der Mundhöhle entsprechend, beim Anstoß durch die Luft bestimmte Frequenzen anklingen müssen (aus REIN - SCHNEIDER 1956).

Die verschiedene Formung des Ansatzrohres für die verschiedenen Sprachlaute geschieht durch verschieden weites Öffnen des Mundes. Diese geht einher mit gewissen Stellungsänderungen der Mandibula, welcher der musculus digastricus venter anterior angeheftet ist, und mit Bewegungen des Zungengrundes sowie des Gaumensegels. Die entsprechenden Veränderungen vor allem hin-

sichtlich der Vokale wurden mit verschiedenen Methoden eingehend untersucht (SCHEIER 1909, LUCHSINGER 1949, HUSSON und DIJIAN 1952).

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Phonation die stimmhaften Laute, bei denen die Stimmbänder schwingen, und die stimmlosen Laute. Zur Gruppe der stimmhaften Laute gehören die Vokale, die Diphtonge, sowie die stimmhaften Konsonanten oder Halbvokale (L, M, N und R). die übrigen Konsonanten werden im Ansatzrohr gebildet ohne Mitwirkung der Stimmbandschwingungen MUTSCHMANN und SCHERER 1963).

Zur Erzeugung der Vokale muß der orale Weg des Ansatzrohres nach außen offen stehen (PERNKOPF 1952). Dies bedeutet also Öffnung des Mundes, mithin also Aktivität im musculus digastricus venter anterior. Weiterhin ergeben sich bestimmte Stellungsänderungen der Zunge. GRUTZNER (1879) gab ein noch heute gültiges Schema für die Form des Ansatzrohres bei der Intonation der Vokale A, U und I. Bei dem von uns untersuchten Vokal I steht ein hinten gelegener großer Hohlraum durch einen engen Kanal, der durch das Anheben der Zunge gegen das Rachendach entsteht, mit einem kleinen vorderen durch die Zahnreihe begrenzten Raum in Verbindung. Der Vokal I ist einer der Eckpfeiler von dem von HELLWAG (1781) erarbeiteten Vokaldreieck.

Beim Vokal A hat die Mundhöhle die Form eines nach vorne sich erweiternden Trichters, beim U die Gestalt einer bauchigen Flasche, die nach hinten geneigt liegt (GRÜTZNER 1879). Die Form der Mundhöhle beim O liegt zwischen der bei A und U, die beim Vokal E zwischen der bei A und I. Nun ist der Klangcharakter der verschiedenen Vokale bestimmt durch das Vorhandensein bestimmter Obertonbereiche, letztere in Abhängigkeit von der oben beschriebenen Form des Ansatzrohres. Diese charakteristischen Eigentöne des Ansatzrohres werden als Formanten bezeichnet (HERRMANN 1894).

Die größte elektrische Aktivität zeigte der musculus digastricus venter anterior bei Phonation des Vokals O. Dies ist verständlich, da der Mund hierbei relativ am weitesten zu öffnen ist. Es handelt sich um die Stellung zwischen A und U. Zur aktiven Öffnung des Mundes ist die Tätigkeit des musculus digastricus venter anterior nötig. Das Zungenbein bleibt dabei fixiert. Der Vokal E, der ebenfalls eine Mittelstellung einnimmt, erfordert weniger Aktivität. Die Mundöffnung ist nicht so ausgesprochen groß wie bei der Phonation von A, die Zunge wird nicht so hochgezogen. Das Zungenbein ist die einzig skelettöse Grundlage für die Zungenwurzel. Es wird also auch durc

die Wirkung der oberen Zungenbeinwurzeln gehoben und fixiert. Bewegungen von Hyoid und Zungenbeinmuskulatur beeinflussen also einander gegenseitig. Jede Bewegung des Zungenbeins führt zu einer Bewegung und Verschiebung des Zungengrundes und verändert zugleich den Kehlkopf sowie den Pharynx in charakteristischer Art und Weise. Hebt sich der Zungengrund, so wird auch der Larynx sowie der Pharynx mit angehoben (PERNKOPF 1952). Eine Beteiligung des musculus digastricus venter anterior, wenn auch mehr passiver Natur, ergibt sich auch aus unseren elektromyographischen Untersuchungen. Die gemessene relative Aktivitätsstärke bei der Phonation des Vokales I liegt unterhalb der des Vokales O und ist größer als diejenige von E. Nach dem GRÜTZNER'schen Schema ist dabei die aktive Öffnung des Mundes geringer als bei den Vokalen A und U; ausserdem wird die Zunge stark angehoben und mit ihr das Hyoid.

Bei der Bildung von Konsonanten unterscheidet man zwischen den stimmhaften Konsonanten, die den Übergang von den Vokalen darstellen, und den eigentlichen "stimmlosen" Konsonanten, die Geräuschcharakter haben. Sie werden gebildet unter Verschluß des Nasen-Rachen-Raumes durch das Gaumensegel als Geräusche an den sogenannten Artikulationsstellen des oralen Ansatzrohres (PERNKOPF 1952).

Die Einteilung der Konsonanten kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Es besteht eine Einteilung nach akustischen Eigenschaften (HERRMANN 1901):

A: Phonische Konsonanten (unter Mitwirkung der Stimme)

1)	Glatte Halbvokale	L
2)	Remittierende Halbvokale	R (Lippen-Zungen-Gaumen-R)
3)	Explosivlaute	B,D

B: Aphonische Konsonanten (ohne Mitwirkung der Stimme)

Aphonische Explosivlaute	K

(Die Auswahl aus der Tabelle erfolgte unter Hinblick auf die von uns untersuchten Konsonanten. Sie wurde nicht vollständig wiedergegeben.)

Eine Ordnung der Konsonanten nach dem Prinzip ihres jeweiligen Entstehungsortes gibt NADOLECZNY (1925).

	Bildungsstelle	Bildungsart	Verschlusslaute	Reibelaute	Zitterlaute	L-Laute
I	Lippen oder Unterlippe und Oberzähne	stimmlos			(Lippen-R)	
		stimmhaft	B			
I	Vorderzunge und Zähne	stimmlos				
		stimmhaft	D			
II	Zunge und Vordergaumen	stimmlos			(Zungen-R)	
		stimmhaft	D			L
V	Zunge und Hintergaumen	stimmlos	K		(Gaumen-R)	
		stimmhaft				

Bei den Verschlußlauten wird der Verschluß unter plötzlicher Durchpressung des Luftstromes gesprengt, bzw. der Luftstrom wird plötzlich unterbrochen. Die Reibelaute entstenen dadurch, daß das Ansatzrohr an bestimmten Stellen verengt ist, und die Luft unter Entstehung eines Reibungsgeräusches durchtreten muß. Zitterlaute setzen die Ränder entsprechender Stellen in Schwingungen (PERNKOPF 1952).

Bei den von uns untersuchten Konsonanten während der Phonation mit Sprechstimme zeigte der musculus digastricus venter anterior seine größte elektrische Aktivität bei den Konsonanten B und R. Von den Versuchspersonen sprach die Mehrzahl ein mehr oder weniger deutlich geprägtes Lippen-R. Beides sind Laute, deren Bildungsstelle Lippen und Oberzähne bilden. Der Unterkiefer wird dabei etwas nach vorne und unten gezogen. Diese Bewegung wird mit anderen Muskeln zusammen durch die Kontraktion des musculus digastricus venter anterior möglich. Bei der Phonation der Konsonanten D und L, welche sich an Zunge und Vordergaumen vollzieht, sowie bei dem aphonischen Explosivlaut K, der unter Benutzung von Zunge und Hintergaumen gebildet wird, zeigt sich eine annähernd gleich grosse elektrische Aktivität des musculus digastricus venter anterior. Dabei wird eine leichte Mundöffnung nötig, die natürlich bei den einzelnen Versuchspersonen individuell variiert ebenso wie eine ausgesprochen starke Anhebung der Zunge. Diese beiden Aktionen machen eine gewisse Betätigung des musculus digastricus venter anterior wahrscheinlich.

Gerade bei der Phonation sind natürlich die Untersuchungen durch individuelle Variationen bei der Stimmgebung belastet. Trotzdem glauben wir, daß die Erkenntnisse, die die elektromyographischen Untersuchungen bringen können, mit Vorsicht interpretiert, ein wesentlicher Mosaikbaustein im Hinblick auf das gesamte, komplizierte Bild der Vorgänge bei der Stimm- und Sprachbildung sein können. Eine Gegenüberstellung der elektrischen Aktivitätsgrade des musculus cricothyreoideus und des musculus digastricus venter anterior bei der Ausführung der gleichen Tätigkeit bietet noch interessante Vergleichsmöglichkeiten.

Beim Schlucken war die gemessene relative Aktivitätsstärke des musculus digastricus venter anterior wesentlich größer als die des musculus cricothyreoideus. Beide Muskeln wurden unter den gleichen Bedingungen untersucht, d.h., es wurden die gleichen Nadelelektroden sowie eine konstante Verstärkung verwendet. Dieses Ergebnis war sowohl im Hinblick auf die unterschiedliche Größe der beiden zu vergleichenden Muskeln als auch auf die zu vollbringende Arbeitsleistung zu erwarten. Um die Stimmbänder beim Schlucken in ihre entsprechende Position zu bringen, braucht der musculus cricothyreoideus, der noch von anderen Kehlkopfmuskeln Unterstützung erfährt, weniger Energieaufwand, zumal ja noch mechanische Komponenten beteiligt sein dürften (STUART 1891/92). Hingegen hat der musculus digastricus venter anterior die Aufgabe, über die Vermittlung des Hyoids den gesamten Kehlkopf nach vorne zu ziehen.

Hinsichtlich eines Vergleiches der beiden Muskeln während der Jnspiration und Exspiration zeigt es sich, daß hierbei dem musculus cricothyreoideus die größere Aktivität zukommt. Während des Jnspiriums übersteigt er sogar die Aktivitätsstärke des musculus digastricus venter anterior. Der musculus cricothyreoideus erweist sich demnach als ein für die Jnspiration wichtiger Muskel. Dies beobachteten wir in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von FAABORG - ANDERSEN (1957).

Jm Ablauf des Hustenreflexes ergab sich eine wesentlich stärkere Beteiligung des musculus digastricus venter anterior, welche oben bereits diskutiert wurde.

Bei der Phonation fand sich im musculus cricothyreoideus in Übereinstimmung mit dem schon laryngoskopisch einfach zu beobachtenden Glottisschluß elektrische Aktivität (NEGUS 1935). Jhre Größe überschritt aber niemals die unterschiedlich starken Aktivitätsgrade des musculus digastricus venter anterior bei der Intonation verschiedener Konsonanten und Vokale. Allerdings sind die Unterschiede nicht so evident, daß von einer allzu lebhaften Beteiligung des musculus digastricus venter anterior bei der Phonation gesprochen werden könnte. Es handelt sich wohl auch nur um eine zusätzlich unterstützende Beteiligung des Muskels.
Diese Gegenüberstellung der relativen Aktivitätsstärken der beiden Muskeln sollte vor allem vor Augen führen, daß mit der Übertragung der durch das Elektromyogramm erhaltenen Werte in ein graphisches System eine rasche und schnelle Orientierung über die gefundenen Ergebnisse möglich ist. Die Diagramme vermitteln zudem einen übersichtlichen Vergleich der einzelnen von uns geprüften Muskeln miteinander während gleicher und unterschiedlicher Funktionen.

Z u s a m m e n f a s s u n g :

Der musculus cricothyreoideus und der musculus digastricus venter anterior wurden während verschiedener Funktionsabläufe elektromyographisch untersucht, und zwar beim Ein- und Ausatmen, Husten, Schlucken, sowie bei der Phonation der Vokale I, O, E und der Konsonanten B, R, D, K und L. Beide Muskeln zeigten bei jeder einzelnen Aktion unterschiedliche elektrische Aktivität. Dabei erbrachte die Größe der sich ergebenden Aktionspotentiale die objektive Bestätigung der anatomisch-physiologischen Gegebenheiten.

1. Der musculus cricothyreoideus zeigte seine größte Aktivität beim Schlucken.
2. Während der Atmung wurde eine das Aktionspotential übersteigende elektrische Aktivität gemessen. Die Werte beim Jnspirium liegen über dem des Exspiriums.
3. Für die Phonation ergaben sich annähernd gleich große Werte. Der Muskel ist während der Phonation in Aktion.

Der musculus digastricus venter anterior zeigte ebenfalls während jedes untersuchten Funktionsablaufes elektrische Aktivität.

4. Die stärksten Aktivitätszeichen fanden wir ebenfalls beim Schluckvorgang.
5. Die relativen Aktivitätsstärken beim Husten waren eindeutig stärker ausgeprägt als bei der Atmung und beim Phonieren.
6. Keinen Unterschied ergaben die Werte während des Jn- und Exspiriums.
7. Die Phonation machte ein unterschiedliches Aktivitätsmuster deutlich.

Bei den Konsonanten B und R fand sich die größte Aktivität innerhalb des Phonationsrahmens, gefolgt von D, K und L.

Bei den Vokalen nahm die Größe der elektrischen Aktivitätszeichen von O über S nach E hin ab.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s :

1 ADRIAN,E.D. und D.W.Bronk : The discharge of impulses in motor nervefibre J.Physiol 67, 119 (1929)

2 AMERSBACH,K. : Elektrophysiologische Untersuchungen an den Kehlkopfmuskeln. Z.exper.Med. 28, 122 (1922)

3 ANDREW,B.L. : The respiratory displacement of the larynx. J.Physiol. 13o, 474 (1955)

4 ARNOLD,G.E. : Die traumatischen und konstitutionellen Störungen der Stimme und Sprache. Wien: Urban und Schwarzenberg (1948)

5 ARNOLD,G.E. : Vocal rehabilitation of paralytic dysphonia: III. Present concepts of laryngeal paralysis. Arch. Otolaryngol. 65, 317 (1957)

6 ARNOLD,G.E. : Physiology and pathology of the cricothyreoid muscle. Laryngoscope 71, 687 (1961)

7 BARTH,E. : Über die Wirkungsweise des musculus cricothyreoideus und ihre Beziehung zur Tonbildung. Arch.f.Laryng.u.Rhin. 13, 187 (19o3)

8 BARWELL,H. : Laryngeal paralyses and their diagnostic valu Lancet 1, 1481 (19o5)

9 BERENDES,J. : Elektrophysiologie des inneren Sprechens. 6.Vers.d.Deutschen Ges.f.Sprach-u.Stimmheilk. Düsseldorf (1954)

1o BERENDES,J. : Neuere Ergebnisse über Bewegungsstörungen des Kehlkopfes. Archiv Ohr-usw.Heilk. 169, 1 (1956)

11 van den BERG,J.: Modern Research in Experimental Phoniatrics. Folia Phoniat. 14, 81 (1962)

12 BIEZANSKI,W. und W.TLUCHOWSKY : Les êtudes électromyographiques des muscles cricothyroideins et sterno-thyroidiens dans l dysphonie fonctionelle. Folia Phoniat. 17, 179 (1965)

13 BJÖRK,A. und E. KUGELBERG : Motor unit activity in the human extraocular muscles. E.E.G.clin.Neurophysiol.5, 271 (1953)

14 BREININ,G.M. und J.MOLDAVER : Electromyography of the human extraocular muscles. Arch.Ophth. 54, 2oo (1955)

15 BROWN,A.L. und E.W. ARCHIBALD : The action of cough upon material in the tracheo-bronchial tract. Experimental study. Am.Rev.Tuberc.16, 111 (19

16 BRUNTON,R.L. und TH. CASH : The valvular action of the larynx. J.Anat.and Physiol.17, 363 (1883)

BUCHTHAL,F. und S.CLEMMESEN : On the differentiation of muscle atrophy by electromyography. Acta psychiat.et neurol. 16, 143 (1941)

CARACENI,T. und F.ZIBORDI : Studio elettromiografico dei muscoli intrinseci laringei dell' uomo in condizioni fisiologiche. Arch.ital.Otol. 75, 478 - 499 (1964)

CARLSÖÖ,S. : An electromyographic study of the activity of certain suprahoid muscles and of the reciprocal innervation of the elevator and depressor musculature of the mandible. Acta.Anat. 26, 81 (1956)

CZERMAK,J.N. : Der Kehlkopfspiegel. Leipzig, (1879)

DOEHNE,E. : Beobachtungen über eine periphere Lähmung des nervus laryngeus superior. Archiv Sprach-Stimmheilk. 5, 157 (1941)

DOTTY, R.W. und J.F.BOSMA : Electromyographic analysis of reflex deglutition. J.Neurophysiol. 19, 44 (1956)

EWALD,J.R. : Die Physiologie des Kehlkopfes und der Luftröhre, Stimmbildung. Heymann:Handbuch der Laryngologie und Rhinologie. Bd.1, 172 - 196, Wien 1898

EXNER,S. : Die Jnnervation des Kehlkopfes. Sitzgsber. Akad.Wiss.Wien, Math.-natur-wiss. Kl.III 89, 63 (1884)

EXNER,S. : Bemerkungen über die Jnnervation des musculus cricothyreoideus. Plügers Arch. 43, 22 (1888)

EXNER,S. : Zur Kenntnis der Jnnervation des Kehlkopfs. Zbl. Physiol. 2, 629 (1888)

FAABORG - ANDERSEN,K. : Electromyographic investigation of intrinsic laryngeal muscles in humans. Acta physiol. scand. 41; suppl. 14o (1957)

FAABORG - ANDERSEN,K. und A.MUNK, JENSEN : Unilateral paralysis of the superior laryngeal nerve. Acta oto-laryng. Stockh. 57, 155 (1963)

FEINSTEIN,B. : The application of electromyography to affections of the facial and the intrinsic laryngeal muscles. Proc.Roy.Soc.Med. 39, 817 (1945-46)

FINK,B.R., BASEK,M. und V.EPANCHIN : The mechanism of opening of the human larynx. Laryngoscope 66, 41o (1956)

FISCHER,N.D. : Preliminary report on an application of the motor function of the superior laryngeal nerve. Ann.Otol., Thinol-u.Laryngol. 61, 352 (1952)

FREEDMAN,L.M.: The role of the cricothyroid muscle in tension of the vocal cords. Arch.Otolaryngol. 62, 347 (1955)

33 FREEDMAN,L.M.: The role of the cricothyroid muscle in tension of the vocal cords.
The Laryngoscope 66, 574 (1956)

34 GEGENBAUR,C. : Lehrbuch der Anatomie des Menschen.
Bd.II, Bd.II, 38o Leipzig (1899)

35 GOERTTLER,K. : Die Anordnung, Histologie und Histogenese der quergestreiften Muskulatur im menschlichen Stimmband.
Z.Anat. 115, 352 (195o)

36 GREGG, R.L. : Avoiding injury to the extralaryngeal nerves.
Ann.Otol.Thinol.and Laryngol. 66, 656 (1957)

37 GREINER,F.G., ISCH,F.,ISCH-TREUSSARD, C.,EBTINGER,JOUFFROY,J., KLOTZ,G. und CHAMPY M. : L'électromyographie appliquée àla pathologie du larynx.
Acta oto-laryng. 51, 319 (196o)

38 GROSSMANN,M. : Experimentelle Untersuchungen über die funktionelle Ausschaltung einzelner Muskeln.
Arch.f.d.ges.Physiol. 73, 184 (1898)

39 GROSSMANN,M. : Über den Musculus Cricothyreoideus.
Mschr.Ohrenheilk. 34, 177 (19oo)

4o GRÜTZNER,P. : Physiologie der Stimme und Sprache.
In L.HERMANN's Handbuch der Physiologie,
Bd. 1,Teil 2, S.1, Leipzig (1879)

41 GUERRIER,Y., BASSERES,F. und E.LETE : Intérêt de l'exploration électromyographique en oto-rhino-laryngologie.
J.franc.Oto-rhino-laryng. 13, 639-655 (1964)

42 GUTZMANN,H. : Physiologie der Stimme und Sprache.
2.Aufl.v.GUTZMANN,H.jr. Braunschweig (1928)

43 GUTZMANN,H. : Zur Frage der gegenseitigen Beziehungen zwischen Bauch- und Brustatmung.
Verh.dtsch.Ges.innere Med.(2o.Kongr.) 5o8 (19o2)

44 HELLWAG,C. : De formatione loquelae.
Diss.Tübingen (1781)

45 HERMANN,L. : Phonophotographische Untersuchungen,
VI.Mitt.,Nachtrag zur Untersuchung der Vokalkurven.
Pflügers Arch. 58, 264 (1894)

46 HERMANN,L. : Fortgesetzte Untersuchungen über die Konsonanten.
Pflügers Arch. 83, 1 (19o1)

47 HOFER,G. : Zur motorischen Innervation des menschlichen Kehlkopfes.
Z.Ges.Neurol.Psych. 177, 783 (1944)

48 HOOPER,F.H. : Experimental researches on the tension of the vocal bands.
Arch.Laryngol. 4 (supp.) 1 (1883)

49 HUSSON,R. : Étude stroboscopique des modifications réflexes de la vibration des cordes vocales déclenchées par des stimulations experimentales du nerf auditif et du nerf trijumeau.
C.r.Acad.Sci.Paris 232, 1247 (1951)

5o	HUSSON,R. und A.DIJAN :	Tomographie et phonation. J.radiol.et électrol. 33, 127 (1952)
51	HUSSON,R. :	Données expérimentales nouvelles concernant la physiologie de la phonation. Exposés annuelles d'Oto-rhino-laryngologie (par R.Madouro) S.187 (1955)
52	INMAN,V.T., RALSTON,H.J., de SAUNDERS,B., FEINSTEIN,B., und E.W.WRIGHT:	Relation of human elektromyogram to muscular tension. E.E.G.clin.Neuro-physiol. 4, 187 (1952)
53	JACKSON,C. und JACKSON C.L. :	Ventriculocordectomy : A new operation for the cure of goitrous paralytic laryngeal stenosis. Arch.Surg. 4, 257 (1922)
54	JELENFFY,L. :	Der Muskulus Cricothyreoideus. Pflügers Arch.ges.Physiol. 7, 77 (1873)
55	JESCHEK,H. :	Über wechselseitige Funktionsbeziehungen der Kehlkopfmuskulatur. Arch.Ohren-usw.Heilk. 163, 372 (1953)
56	JESCHEK,J. :	Die Ektomie des m.cricothyreoideus als zusätzlicher Eingriff zur Laterofixation. Archiv Ohren-usw.Heilk. 173, 433 (1958)
57	JUDSON,L.S. und A.T.Weaver:	Voice science. New York: Appleton-Century-Crofts (1942)
58	JURASZ,A. :	Zur Frage nach der Wirkung der Mm.Thyreocricoidei. Archiv Laryngol. 12, 61 (19o1)
59	KASPAR,F. :	Zur Technik der Kropfoperation. Deutsche Z.Chir. 256, 4 (1942)
6o	KATSUKI,Y. :	The function of the phonatory muscles. Jap.J.Physiol. 1, 29 (195o)
61	KATZENSTEIN,J.:	Über die Innervation des m.cricothyreoideus. Virchow's Archiv 13o, 316 (1892)
62	KATZENSTEIN,J.:	Über ein neues Rindenfeld und einen neuen Reflex des Kehlkopfs. Arch.f.Physiol. 396 (19o5)
63	KATZENSTEIN,J.:	Über die Lautgebungsstelle in der Hirnrinde des Hundes. Arch.f.Laryng. 2o, 5o9 (19o8)
64	KATZENSTEIN,J.:	Über Brust-, Mittel- und Falsettstimme. Passow-Schäfer Beiträge 4, 271 (1911)
65	KECHT,B. :	Die Behandlung der operativen Recurrenslähmungen. Wien: Maudrich (1953)
66	KRAUSE,H. :	Über den Musculus cricothyreoideus. Monatsschr.f.Ohrenh. 35, 61 (19o1)
67	KRAUSE,H. :	Über den Musculus cricothyreoideus. Monatsschr.f.Ohrenh. 35, 2 (19o1)

68 KUTTNER,A. und J. KATZENSTEIN : Bemerkung zu der M.Grossmann'schen Arbeit "Über den Musculus Cricothyreoideus". Monatsschr.f.Ohrenh. 34, 7 (19oo)

69 v. LANZ,T. : Praktische Anatomie, Bd.I, Teil2, Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer-Verlag (1955)

7o LAWSON,L.J. : The superior and recurrent laryngeal nerves. Quart.Bull.Northwest.Univ.Med School.22, 356 (1948)

71 LIPPOLD,O.C.J.: The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isomentric tension. J.Physiol. 117, 492 (1952)

72 LISTER,S.J. : Anaesthesia, in HOLMES,R. : System of surgery. Philadelphia, H.C. LEA's Son & Co. (1881)

73 LONGET : Recherches expérimentales sur les nerfs des muscles du larynx etc. Gas.Med. Paris (1841)

74 LUBLINSKI,W.: Gibt es eine isolierte Lähmung des musculus cricothyreoideus ? Münchener med.Wochenschr.S.1o53 (19o1)

75 LUCHSINGER,R.: Über die periphere isolierte Lähmung des nervus laryngeus superior. Archiv Sprach-Stimmheilk. 4, 15 (194o)

76 LUCHSINGER,R.: Kasuistischer Beitrag zu den Kehlkopflähmungen bei Lues II. Schweiz.Med.Woschr.72, 477 (1942)

77 LUCHSINGER,R.: Stimmstörung nach Strumaoperation ohne Recurrensschädigung. Schweiz.Med.Woschr.72, 1136 (1942)

78 LUCHSINGER,R.: Die periphere isolierte Lähmung des m.laryngeus superior. Archiv Ohren-usw.Heilk. 151, 393 (1942)

79 LUCHSINGER,R.: Die zentrale Lähmung des m.laryngeus superior. Pract.Oto-Rhino-Laryngol. 7, 139 (1945)

8o LUCHSINGER,R.: Falsett und Vollton der Kopfstimme. (Beitrag zum Registerproblem.) Arch.Ohr-usw.Heilk. 155, 5o5 (1949)

81 LUCHSINGER,R. und G.E.ARNOLD: Lehrbuch der Stimm-und Sprachheilkunde p.36 und 12o. Wien (1949) Springer Verlag.

82 LUCHSINGER,R.: Beitrag zur Diagnostik isolierter peripherer Lähmungen des n.laryngeus cranialis. Folie phoniat. 17, 1o5 (1965)

83 MAINZER,F.S. : Paralysis of the superior laryngeal nerve as a result of cerebral hemorrhage. The Laryngoscope. 41, 33 (1931)

84 MARSHALL,J. : Outlines of physiology. Philadelphia, Henri C.Lea (1868)

85 MASSEI,F. : Über die Bedeutung der "Anästhesie des Kehlkopfeingangs" bei den Recurrenslähmungen. Berl.Klin.Woschr. Vol 47, (1906)

86 MAYET,A. : Zur Innervation des m.cricothyreoideus. Anat.Anz. 103, 340 (1956)

87 MAYET,A. und K.MÜNDNICH : Beitrag zur Anatomie und zur Funktion des M.cricothyreoideus und der Cricothyreoidgelenke. Acta anat. 33, 273 (1958)

88 MENZEL,M. : Experimentelle Untersuchungen über die Funktion der menschlichen Kehlkopfmuskeln. Z.Hals-Nas.-Ohrenheilk. 25, 555 (1930)

89 MICHEL,R. : Die Bedeutung des m.sternothyreoideus für die Rahmenmodulation der menschlichen Stimme. Folia phoniat. 6, 65 (1954)

90 MITCHINSON,A.G. und I.M.YOFFEY : Respiratory displacement of larynx hyoid bone and tongue. J.Anat. 81, 118 (1947)

91 MOLLER,J. und J.F.FISCHER : Über die Wirkung der Mm.cricothyreoideus und thyreo-arytaenoideus internus. Arch.f.Laryng.u.Rhin 15, 72 (1904)

92 MÜLLER,J. : Handbuch der Physiologie des Menschen. Band 2, 1.Teil, Koblenz (1837)

93 MÜNDNICH,K. : Anatomische und histologische Untersuchungen und Experimente zur Physiologie und Pathologie des menschlichen Kehlkopfes. Arch.Ohren-usw.Heilk. 169, 190 (1956)

94 MULLIN,W.V. : Physiology of the larynx. Tr.Am.Laryng.Rhin.u.Otol.Soc. 34, 341 (1928)

95 MURTAGH,J.A. und C.J.CAMPBELL : The effect of the barbiturates on laryngeal function. Ann.Otol.,Rhinol.u.Laryngol. 65, 545, (1956)

96 MUSEHOLD,H. : Strobóskopische und photographische Studien über die Stellung der Stimmlippen im Brust- und Falsettregister. Arch.f.Laryng. 7, 1 (1898)

97 MUTSCHMANN,H. und G.SCHERER : Englische Phonetik Walter de Gruyter & Co. Berlin (1963)

98 MYGIND,H. : Die Paralyse des m.cricothyreoideus. Arch.f.Laryng.u.Rhin. 18, 403 (1906)

99 NADOLECZNY,M. : Physiologie der Stimme und Sprache. In DENKER-KAHLER's Handbuch der Hals-,Nasen-und Ohrenheilkunde. Bd.1, 621 Berlin (1952)

100 NAKAMURA,F., UYEDA,Y. und Y.SONODA : Electromyographic study on respiratory movements of the intrinsic larygeal muscles. Laryngoscope 68, 109-119 (1958)

101 NEGUS,V.E. : The mechanism of phonation. Acta oto-laryng. 22, 393 (1935)

102 NEGUS,V.E. : Evolution of the speech organs of man. Arch.Oto-laryng. 28, 236 (1938)

1o3	NEMAI,J. :	Zur Anatomie und Physiologie des Stimmorgans. Monatsschr.f.Ohrenh. 71, 74 (1937)
1o4	NEUMAYER,H.:	Untersuchungen über die Funktion der Kehlkopfmuskeln. Arch.Laryngol. 4, 323 (1896)
1o5	PANCONZELLI - CALZIA,G. :	Ein Einheitskriterium für die Untersuchung der Atembewegungen. Vox (Berl.) (1919) S.186.
1o6	PERNKOPF,E. :	Topographische Anatomie, Bd.III, Wien und Innsbruck, Urban & Schwarzenberg (1952)
1o7	POIRIER - CHARPY :	Traité d'Anatomie humaine. Bd.III, 389, Paris (19o2)
1o8	PORTMANN,G., ROBIN,J.L., LAGET,P. und R.HUSSON :	La myographie de cordes vocales. Acta oto-laryng. 46, 25o (1956)
1o9	PRESSMANN,J.J.:	The sphincter action of the larynx. Arch.Otolaryng. 33, 351 (1941)
11o	PRESSMANN,J.J.:	Effects of the sphincteric action of the larynx on intraabdominal pressure and on the muscular-action of the pectoral girdle. Arch.Oto- laryng. 39, 14 (1944)
111	PRESSMANN,H.J. und G.KELEMEN :	Physiology of the larynx. Physiol.Reviews 35, 5o6 (1955)
112	RANKE,F. und H.LULLIES :	Gehör, Stimme, Sprache. Lehrbuch der Physiologie Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer Verlag 1953)
113	REIN,H. und M.SCHNEIDER :	Physiologie des Menschen.. Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer Verlag (1956)
114	ROSENBACH,O.:	Zur Lehre von der doppelseitigen totalen Lähmung der nn.laryng.inf.. Breslauer ärztl.Zeitschr.2, 14 (188o)
115	SCHEIER,M. :	Die Bedeutung des Röntgenverfahrens für die Physiologie der Sprache und der Stimme. Arch.f.Laryng.22, 175 (19o9)
116	SCHILLING,R. :	Untersuchungen über die Atembewegungen beim Sprechen und Singen. Mschr.Ohrenheilk.59, 581 (1952)
117	SCHILLING,R. :	Der m.sternothyreoideus und seine stimmphysiologische Bedeutung. Arch.Sprach- und Stimmh. 1, 65 (1937)
118	SEMON,F. und V.HORSLEY :	An experimental investigation of the central motor innervation of the larynx. Part I.Excitation experiments. Philos.Trans.Roy.Soc.Londen 5, 181 (189o) zit.n. NAGEL,W.: Physiologie der Stimmwerkzeuge. Jn NAGEL's Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd.4, 691 Braunschweig (19o4)

119 SEMON,F. : Herr Grossmann und die Frage der Posticuslähmung. Arch.f.Laryng.u.Thin. 6, 492 (1897)

12o SHELTON,R.L.jr., BOSMA,F. und B.V.SHEETS : Tongue, hyoid and larynx displacement in swallow and phonation. J.appl.Physiol. 15, 283 (19o6)

121 SMITH ,S. : Remarks on the physiology of the vibrations of the vocal cords. Folia Phoniat. 6, 166 (1954)

122 SONNINEN,A. : The role of the external laryngeal muscles in length-adjustment of the vocal cords in singing. Acta oto-laryng. 13o (suppl.) (1956)

123 STARLING,E.H.: Principles of Physiology. ed. 7, Philadelphia, LEA und FEBIGER (1937)

124 STUART,R.P.A.: On the mechanism of the closure of the larynx. Proc.Roy.Soc.London 5o, 323 (1891-92)

125 STUPKA,W. : Experimentelle Beiträge zur Kenntnis der Atembewegungen des Hundekehlkopfes. Z.Hals-,Nas.-Ohr.-Heilk., 9, 3o6 (1924)

126 TARNEAUD,J. : Die Stimmlippe im Zustand der Phonation. Hals-Nas.-Ohr.-Arzt 28, 36 (1937)

127 TOLDT,C. : Der vordere Bauch des m.digastricus mandibulae und seine Varietäten beim Menschen. Sitzgsber.Akad.Wiss.Wien, Math.-natur-wiss. Kl.Abt.III, 117,(19o8)

128 TONNDORF,J. : Die Mechanik bei Stimmlippenschwingungen und bei Schnarchen. Ztschr.f.Hals-,Nasen-u.Ohrenh. 12, 241 (1925)

129 TRENDELENBURG,W. und H.WULLSTEIN : Untersuchungen über die Stimmbandschwingungen. Sitzgsber.preuß.Akad.Wiss.,Physik-math.Kl. Nr. 21, 4o1 (1935)

13o TREVES - KEITH : Chirurgische Anatomie. S. 126, Berlin (1914)

131 TSCHIASSNY,K. : Studies concerning the action of the musculus cricothyreoideus. The Laryngoscope 54, 589 (1944)

132 TSCHIASSNY,K. : Therapeutically induced paralysis of the cricothyroid muscle or its removal in paralytic laryngeal stenosis. Arch.Otolaryngol. 65, 133 (1957)

133 WAGNER,R. : Die Medianstellung des Stimmbands bei Recurrenslähmung. Virchows Arch.f.path.Anat. 12o, 437 (189o)

134 WEDDELL,G., G.FEINSTEIN und R.E.PATTLE: The electrical activity of voluntary muscle in man under normal and pathological conditions. Brain 67, 178 (1944)

135 WEGENER,C.F.: Om Bestemmelse af Muskelaktionspotentialernes Effektivspoending. Bibliot.f.laeger. 133, 253 (1941)

136 WEISS,O. : Über die Entstehung der Vokale.
II. Die Vorgänge im ausgeschnittenen Kehlkopf.
Arch.Exper.u.klin.Phonetik. 1, 35o (1914)

137 WELEMINSKY,J.: Zur Physiologie und Pathologie der Bewegungsvorgänge am Kehlkopf.
Z.Hals-usw.Heilk. 16, 374 (1926)

138 WETHLO,F. : Tonhöhenänderung der Stimme bei steigendem Atemdruck.
Arch.f.Ohren-,Nasen-u.Kehlkopfh. 155,283 (1949)

139 WYLLIE,J. : Observations on the physiology of the larynx
Edinburgh M.J. 12, 214 (1866)

14o YANNOULIS,G., KOKKINI,D., COUTSIMBELLAS B. und M.SALLOUSTE : Sitzungsbericht : Griechische ONO-Gesellschaft, Thessaloniki (1964)

141 ZENKER,W. und ZENKER,A. : Über die Regelung der Stimmlippenspannung durch von außen eingreifende Mechanismen.
Folia phoniat. 12, 1-36 (196o)

L e b e n s l a u f .

Jch, Gesine Graf, wurde am 14. August 1942 als zweites Kind des nunmehrigen Senatspräsidenten Dr. iur Ludwig Graf und seiner Ehefrau Jrmengard, geb. Dietel, in München geboren. Jch besuchte die Volksschule an der Simmernstraße in München von der 1. - 4. Klasse und anschliessend das städtische Mädchenrealgymnasium München - Nord an der Wilhelmstrasse von der 1. - 9. Klasse. Dort legte ich am 19. Juli 1961 die Reifeprüfung ab. Jm Wintersemester 1961/62 begann ich an der Universität Erlangen - Nürnberg mit dem Studium der Philologie (Latein, Französisch). Jm darauffolgenden Sommersemester wechselte ich zum Medizinstudium über. Jm Wintersemester 1962/63 setzte ich mein Studium an der Universität München fort und bestand hier am 29. April 1963 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und am 24. Februar 1965 die ärztliche Vorprüfung. Auch während der klinischen Semester war ich an der hiesigen Universität immatrikuliert. Jm Wintersemester 1967/68 bewarb ich mich um die Zulassung zum Staatsexamen.

Herrn Professor Dr. med. A. Herrmann danke ich für meinen Arbeitsplatz und dafür, daß mir für die Anordnung und die Durchführung meiner Experimente alle Möglichkeiten seiner Klinik zur Verfügung standen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. med. W. Lesoine, dessen Rat und Hilfe mir die Bearbeitung dieses Themas ermöglicht hat.